

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Ultravysokohodnotné betony pro tenkostěnné konstrukce

Ultra-high performance concrete for thin-walled structures

Student:

Bc. David Pytlík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. David Pytlík**

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Ultravysokohodnotné betony pro tenkostěnné konstrukce  
Ultra-high performance concrete for thin-walled structures

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Práce se zabývá vývojem ultravysokohodnotných betonů pro tenkostěnné konstrukce. Předpokládá se dosažení pevnosti minimálně 150 MPa v tlaku a asi 20 MPa v tahu ohybem.

Práce zahrnuje literární rešerši dané problematiky, volbu složek (např. cement, příměsi, vhodné kamenivo), včetně kompatibility plastifikátoru a volbu výztuže. Ta může být buď rozptýlená, nebo mohou být použity rohože – textilem vyztužený beton. Vlastnosti betonů budou zkoušeny nejen na hranolech 40x40x160 mm, ale i na deskových vzorcích – předpokládá se tloušťka 10 – 20 mm. Na základě provedených zkoušek bude specifikováno složení ultravysokohodnotného betonu a případně zhotovena drobná tenkostěnná konstrukce. Budou vytipovány perspektivní směry využití tohoto materiálu v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

Collepari, M.: Moderní beton., Informační centrum ČKAIT, edice Betonové stavitelství, 2009, 342 s..  
ISBN 978-80-87093-75-7

Ařtcin, P.-C.: Vysokohodnotný beton, Informační centrum ČKAIT, edice Betonové stavitelství, 2005.  
ISBN 80-86769-39-9.


Sborníky domácích a mezinárodních konferencí

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

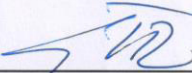
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
Ing. Libor Židek  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnutí licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta



## **Anotace**

PYTLÍK, David. Ultravysokohodnotné betony pro tenkostěnné konstrukce. Ostrava, 2016. Diplomová práce. VŠB – technická univerzita Ostrava, 110 s. Vedoucí práce Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.

Tato Diplomová práce se zabývá vývojem ultravysokohodnotných betonů pro tenkostěnné konstrukce. Práce zahrnuje řešení dané problematiky a volbu složek, včetně jejich compatibility. Vlastnosti byly vyzkoušeny na hranolech 40x40x160mm, ale i na jiných zkušebních tělesech, které svým charakterem odpovídají potřebě zkoušek tenkostenných desek. Na základě výsledků bylo navrženo ideální složení betonu s cílem dosáhnout pevnosti v tlaku 150 MPa a pevnosti v ohybu 20 MPa.

## **Klíčová slova**

Ultravysokohodnotný beton, vysokohodnotný beton, beton, tenkostěnné, konstrukce

## **Abstract**

PYTLÍK, David. Ultra-high performance concrete for thin-walled structures. Ostrava, 2016. Master's thesis. VŠB – Technical university of Ostrava, 110 p. Thesis supervisor Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.

This diploma thesis deals with the development of ultra-high- performance concrete for thin-walled structures. The thesis includes solving the given problems and the choice of components, including their compatibility. The properties were tested on prisms 40x40x160mm and other specimens, according to the requirements of the tests with respect to the use of thin-walled structures. On the basis of the tests, formulations were optimized with the aim to achieve a compressive strength of 150 MPa and a flexural strength of 20 MPa.

## **Keywords**

Ultra-high performance concrete, high performance concrete, concrete, thin-walled, structure

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Vlastimilovi Bílkovi, Ph.D. za odborné rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce, Ing. Davidovi Bujdošovi a Ing. Martinovi Šeděnkovi za odborné poznámky a pomoc při práci v laboratoři.

## Obsah diplomové práce:

Seznam použitého značení .....	11
Úvod .....	12
Textová část.....	13
1. Beton ve stavebnictví .....	14
1.1. Historie betonu .....	14
1.2. Současné trendy a budoucnost.....	15
1.3. Příklady v praxi .....	16
2. Vysokohodnotný beton HPC .....	17
2.1. Vysokopevnostní beton (HSC).....	17
2.2. Reaktivní práškový beton RPC (Reactive powder concrete) .....	18
2.3. Samozhutnitelný beton SCC (Self-compacting concrete) .....	19
2.4. Vysokohodnotný vláknobeton.....	20
2.5. Lehký vysokohodnotný beton .....	20
3. Složení vysokohodnotného betonu.....	22
3.1. Cement.....	22
3.2. Kamenivo .....	22
3.3. Voda .....	23
3.3.1. Vodní součinitel.....	23
3.4. Přísady .....	23
3.5. Příměsi.....	24
3.5.1. Křemičitý úlet.....	24
3.5.2. Metakaolín.....	24
4. Odolnost HPC .....	25
4.1. Mechanická odolnost.....	25
4.2. Vliv vysokých teplot a požární odolnost.....	26

4.3. Chemická odolnost .....	26
4.4. Mrazuvzdornost.....	26
4.5 Biologická odolnost.....	27
5. Ošetřování HPC.....	28
Praktická část.....	29
6. Zkušební metody .....	30
6.1. Příprava zkušebních malt .....	30
6.2. Stanovení konzistence čerstvé malty.....	30
6.3. Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku .....	31
6.4. Výroba a ošetřování zkušebních betonových těles.....	33
6.5. Zkouška rozlitem .....	33
6.6. Pevnost v tlaku zkušebních těles .....	33
6.7. Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles .....	34
6.8. Hloubka průsaku tlakovou vodou .....	35
6.9. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku.....	35
7. Vstupní položky .....	37
7.1. Kamenivo .....	37
7.2. Cement .....	38
7.3. Přísady.....	38
7.4. Příměsi.....	39
7.5. Voda .....	39
7.6. Výztuž .....	39
8. Návrh složení směsi .....	40
8.1. Bod nasycení plastifikátorem .....	40
8.2. Obsah kameniva .....	47
8.3. Vodní součinitel .....	50
8.4. Příměsi.....	54

8.5. Návrh vyztužené směsi.....	59
8.6 Výztuž rohoží – textilní beton .....	67
8.7 Návrh vylehčené směsi.....	71
8.8 Finální vyztužená směs .....	75
8.9 Finální nevyztužená směs.....	80
Závěr.....	84
Seznam použitých zdrojů .....	85
Seznam grafů.....	87
Seznam tabulek .....	88
Seznam obrázků .....	88
Seznam příloh.....	89
Přílohy .....	90

### Seznam použitého značení

F(x)		Stupeň rozlití
HPC	High-performance concrete	Vysokohodnotný beton
HSC	High-strength concrete	Vysokopevnostní beton
RPC	Reactive powder concrete	Reaktivní práškový beton
SSC	Self-consolidating concrete	Samozhutnitelný beton
TR	Textile reinforcement	Textilní výztuž
TRC	Textile reinforced concrete	Textilní beton
UHPC	Ultra high-performance concrete	Ultravysokohodnotný beton
VMA	Viscosity modifying admixture	přísada upravující viskozitu

## Úvod

Vysokohodnotné betony jsou vývojovým trendem, který má za cíl zlepšit kvalitu betonových konstrukcí. Mezi výhody vysokohodnotných betonů patří snížení spotřeby materiálů, zvýšení trvanlivosti a kvality konstrukce a tím prodloužení životnosti konstrukcí. Nejlepší UHPC odolávají i nejvyšším vlivům prostředí. Zatím se životnost UHPC odhaduje na více než 200 let. Díky lepším mechanickým vlastnostem umožňují tyto betony provádění subtilních, ale přitom dostatečně tuhých konstrukcí. To předurčuje široké použití tohoto materiálu v oblasti moderní architektury.

Ve světě je UHPC používán hojněji, než je tomu v České republice. Jejich uplatnění se nachází hlavně v mostním stavitelství a při výstavbě výškových budov. V České republice zatím nejsou specializované normy pro UHPC a proto panuje při navrhování konstrukcí z takových betonů určitá obava. Zatím tedy vznikají spíše menší projekty jako pěší lávky a podobné konstrukce, kde určitá subtilita prvků působí velice elegantně.

Tato práce si kladla za cíl experimentálně zkoumat vlivy, které mohou při návrhu ultra-vysokohodnotných betonů hrát významnou roli. Výsledkem zkoumání pak je návrh finálních receptur.



## **Textová část**

## **1. Beton ve stavebnictví**

Beton lze zjednodušeně popsat jako směs cementu, kameniva a vody, která po zatvrdnutí cementové matrice připomíná umělý kámen. Je to jeden z nejčastějších a nejrozšířenějších používaných stavebních materiálů dneška. Ve vyspělých zemích patří betonu více než dvě třetiny výroby a spotřeby stavebních materiálů. Toto prvenství plyne z výhod použití betonu jako konstrukčního materiálu. Největší výhody betonu jsou vysoká pevnost a trvanlivost, odolnost proti povětrnostním vlivům a hlavně jeho snadná tvarovatelnost. Ve většině případů je beton také cenově dostupný stavební materiál z lokálních zdrojů. [1]

### **1.1. Historie betonu**

Vývoj betonu začal téměř před 6000 lety. Jedny z prvních zmínek o betonu pochází z roku 3600 př.n.l., kdy se datují první zdroje o použití umělého kamene. Bližší historie betonu se začíná psát od roku 1791, kdy si J. Parker patentoval tzv. románský cement. [2]

Jako začátek novodobé historie se dá považovat rok 1824, kdy J. Aspdin objevil výrobu portlandského cementu. Výroba a používání tohoto pojiva se velmi rychle rozšířila. [1]

V dnešní době již beton vypadá poněkud jinak, ale hlavní myšlenka, kterou bylo spojit samostatné zrna kameniva dohromady a vytvořit hutnou matici se téměř nezměnila. [2]

Největší rozvoj technologie vysokohodnotných betonů nastal v posledních 25 letech. Ten nastal v důsledku vstupu stavební chemie do procesu výroby betonu. Kromě moderní mechanizace, která ovlivnila výrobu a dopravu čerstvé betonové směsi, se začaly používat ve větší míře nové druhy cementů, přísad a příměsí do betonu. Výzkum a studium betonu umožňuje v dnešní době vyrábět betony opravdu vysoké kvality. Tyto betony splňují podmínky pro velice štíhlé, dlouhé a přitom únosné konstrukce, které působí velice elegantně. Takový vývoj betonu má velký vliv také na architekturu, která k stavitelství neodmyslitelně patří. Betony v dnešní době mají velkou kvalitu, jsou velice odolné povětrnostním vlivům. Mají

taktéž velkou trvanlivost. Toto prodloužení životnosti, zvýšení kvality a úspory materiálu díky subtilnějším průřezům přináší také ekonomické a ekologické výhody. [1]

## **1.2. Současné trendy a budoucnost**

V současné době je velice aktuální téma trvale udržitelného rozvoje ve stavebnictví. Je totiž důležité, zacházet se zdroji, které jsou k dispozici jen v omezeném množství tak, aby byla minimalizována budoucí rizika ohrožující další vývoj lidstva a přírody. Tyto požadavky byly formulovány v roce 1980 v dokumentu Světové strategie ochrany životního prostředí (WSC). Lidstvo se ovšem snaží udržet si svůj standart, nebo pokud možno ho co nejvíce navýšit. Tato tendence si bohužel ochranou životního prostředí odporuje. Proto je třeba plnit požadavky na trvale udržitelný rozvoj a zároveň efektivně zkoumat a využívat moderní technologie a materiály. [3]

Další opatření pro ochranu životního prostředí je snaha o co nejmenší odpadovost při výrobě betonu a používání recyklátů v co největší možné míře. Také zvyšování kvality betonu. Se zmenšením průřezu nosných konstrukcí souvisí také snížení dopravní zátěže a snížení spotřeby energií. [4]

Kvalita betonu se zvýší dodržováním pravidel, jakými může být snaha o co největší používání transportbetonu, který zajišťuje přesné dávkování složek a nekolísající jakost betonu, tím lepší odolnost a snížení křehkosti betonu. Dále kvalitu zvyšuje použití stavební chemie, která nám zaručí požadované vlastnosti. [4]

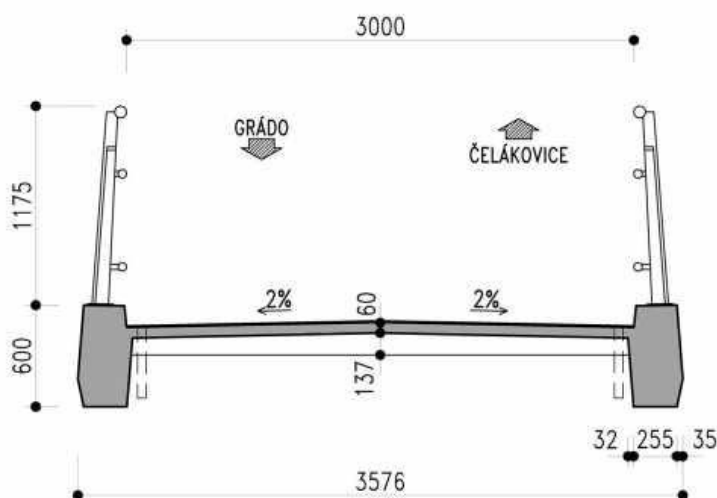
Požadované vlastnosti HPC musí být také v souladu s ekonomickou výhodností při výrobě a při použití v konstrukci. V porovnání s běžným betonem bude výroba 1 m<sup>3</sup> HPC vždy dražší. Cenu stavby však nelze posuzovat jen podle ceny za 1 m<sup>3</sup>. Do ceny stavby se nesmí započítávat jen výrobní cena, ale také musíme brát ohled na menší spotřebu materiálu, pozdější náklady na údržbu a případně opravu. Vysokohodnotný beton, který má lepší vlastnosti a menší spotřebu materiálu, vyjde dlouhodobě jako ekonomicky výhodnější. [1]

Největší výhodou HPC je především jeho adaptabilita. Specializované použití vysokohodnotného betonu je omezena maximálně představivostí projektanta, je to tedy materiál blízké budoucnosti, který má své opodstatnění a velmi široké využití. [5]

### 1.3. Příklady v praxi

Pěší lávka nacházející se v Čelákovících přes řeku Labe je unikátní stavbou v České republice. Jedná se o první použití UHPC pro nosnou konstrukci a zároveň vyniká největším rozpětím hlavního zavěšeného pole v ČR. [6]

Obrázek 1.3.1 - Příčný řez lávky [6]



Zajímavým využitím UHPC může být taky kontejner na skladování nízko a středně radioaktivního odpadu. Tento beton musel splňovat požadavek na velmi dlouhou trvanlivost. Minimálně 300 let. [1]

## **2. Vysokohodnotný beton HPC**

Definice vysokohodnotného betonu není jasně definována. Nejčastěji se jako HPC (High-performance concrete) uvádí HSC (High-strength concrete), ale není to zcela správně. Vysokohodnotný beton nevyniká pouze vysokou pevností, HSC tedy spadá do kategorie HPC jako další typy betonů. Typů vysokohodnotných betonů existuje velké množství, které se neustále rozšiřuje. V této práci bylo popsáno několik druhů vysokohodnotných betonů. Obecně lze říci, že vysokohodnotné betony mají společné znaky jako velmi nízký vodní součinitel, vysokou míru kompaktnosti a výběrem kvalitního kameniva. [5]

Z toho plyne, že vysokohodnotný beton se vyznačuje vynikající kvalitou a trvanlivostí hlavně díky splnění požadavků na jeho vlastnosti. Tyto požadavky se většinou nedají splnit použitím běžných složek betonu a běžným způsobem výroby. [1]

Při bližším pohledu na HPC se nabízí otázka, zda se pořád jedná o beton, nebo spíše o speciální kompozit na bázi cementového pojiva. Kromě použití na samostatné betonové konstrukce lze UHPC použít jako ochrannou tenkou vrstvu na standartní konstrukce. Například ochranné nabetonávky mostovek, ochranné vrstvy říms a pilířů. [7]

Rozdíl mezi HPC a UHPC čili vysokohodnotným betonem a velmi vysokohodnotným beton je rozdíl hlavně v tom jak moc vyniká nad běžnými betony. Některá literatura UHPC neuvádí a používá jen termín vysokohodnotné betony. Proto bylo v teoretické části této práce zmiňováno jen HPC.

### **2.1. Vysokopevnostní beton (HSC)**

Prvním popsaným HPC je vysokopevnostní beton, který je z mnoha hledisek nejvíce podobný vysokohodnotnému betonu. Vysokopevnostní beton má také velmi nízký vodní součinitel díky přítomnosti superplastifikátoru. Vyznačuje se také použitím příměsí. Pro HSC jsou důležité 4 faktory návrhu. Jedním z těchto faktorů je již zmíněný nízký vodní součinitel pohybující se okolo 0,4-0,3 s použitím plastifikátoru. Dalšími faktory jsou použití minerálních

příměsí v podobě křemičitých úletů. Použití speciální výrobní technologie kvůli zabránění vzniku autogenních trhlin z důvodu nízkého vodního součinitele. Použití kvalitního drceného kameniva, které je charakteristické svou vysokou pevností v tlaku. [8]

Vysokopevnostní betony mají také nevýhody, například pokud nejsou vyztuženy vlákny, mají nízkou odolnost vůči působení vysokých teplot. Bez použití rozptýlené výztuže mají HSC také malou duktilitu a jsou vysoce křehké. Oproti běžným betonům mají vysokou cenu za 1 m<sup>3</sup> a vysoké náklady na kontrolu při výrobě. [9]

Své opodstatnění naleznou vysokopevnostní betony hlavně při výstavbě velkých a rozsáhlých infrastruktur, kde je zapotřebí vysoká pevnost v tlaku a vysoká tuhost konstrukce. Při použití HSC na výškové budovy bude získána lepší ohnivzdornost oproti ocelové konstrukci. Vhodné použití se nachází také v místech se zvýšeným rizikem mechanického poškození konstrukce a otěru. [8]

## **2.2. Reaktivní práškový beton RPC (Reactive powder concrete)**

Jedním z novějších typů vysokohodnotných betonů je reaktivní práškový beton. Ten byl vynalezen ve Francii Pierrem Richardem. Reaktivní práškový beton neobsahuje žádné hrubozrnné plnivo. Průměrná velikost částic plniva je 200 µm. Nabízí se otázka, zda je RPC vůbec beton, nebo spíše malta. Odpovědí na tuto otázku můžeme nalézt díky rozptýlené výztuži. Rozptýlená výztuž ve formě drátků se totiž v tomto betonu chová jako ocelová výztuž v běžném betonu. Toto způsobuje změna měřítka velikosti plniva. Při porovnání velikosti průřezu ocelové výztuže a velikosti kameniva běžného betonu vyjde stejný poměr, jako při porovnání velikosti částic plniva a velikosti průřezu rozptýlených drátků v RPC. [10]

Hlavní myšlenkou RPC je, že k porušení vysokopevnostních betonů dochází skrze kamenivo. Výsledkem bylo odstranění kameniva s vyšší zrnitostí a vytvoření velmi pevné cementové matrice s extrémně nízkým vodním součinitelem. Pokud se tedy v takovém betonu nenachází kamenivo, tak nemůže být nejslabším článkem. Tento beton je založen na třech principech. Jedná se o odstranění částic větších rozměrů a zvýšení homogenity materiálu. Dále zvýšení kompaktnosti cementové matrice vhodně zvolenou granulometrií plniva, tak aby došlo

k dobré distribuci v čerstvé směsi. Posledním principem je tvrdnutí cementové pasty vhodným ošetřováním za vysoké teploty. Při dodržení těchto zásad lze dosáhnout extrémně vysokých pevností v tlaku až 500 MPa a při použití metalického prášku jako plniva až 800 MPa. [10]

### **2.3. Samozhutnitelný beton SCC (Self-compacting concrete)**

Hlavní výjimečnou vlastností samozhutnitelného betonu je reologie čerstvé směsi. Tento beton má schopnost dobrého pohybu i bez působení vnějších sil. Současně musí být dostatečně odolný proti rozměšování a segregaci kameniva, zvláště hrubozrnného. Požadavek na rozlití SCC je 630 mm až 850 mm, to odpovídá stupni F6 až F7. Důležité je, aby v průběhu ukládání čerstvé směsi nedocházelo k blokování průtoku. Tato vlastnost je testována pomocí speciálních zkušebních zařízení. [11]

Tento beton je zhutněn pouze svou vlastní hmotností při ukládání. To zajišťuje dokonalé vyplnění bednění čerstvou betonovou směsí a obtečení uložené výztuže, aniž by docházelo k mechanickému hutnění. [11]

Výhodou tohoto betonu je rychlý nárůst pevností a kvalitní pohledové plochy. Malá viskozita směsi snižuje pracnost provádění betonáže na staveništi a zrychluje betonování. Tento beton nachází uplatnění zejména ve výstavbě infrastruktury. V tomto odvětví vznikají objemné konstrukce a kvůli vysokému stupni vyztužení je hutnění tradiční cestou složitější. Dalším příkladem použití mohou být významná architektonická díla se složitou fasádou z pohledového betonu. [11]

Základem požadovaných vlastností SCC je superplastifikační přísada, která dovolí snížit dávku záměsové vody a přitom zajistit požadovanou reologii. Důležitým požadavkem je také kvalita kameniva s vyšší dávkou jemnozrnného kameniva. Kvůli požadavku na homogenitu směsi je vhodné použít vysokou dávku jemnozrnných příměsí, které snižují náchylnost směsi k segregaci. [11]

## 2.4. Vysokohodnotný vláknobeton

Vláken existuje mnoho typů ať už ve formě syntetických vláken, nebo ocelových drátků. Proto ani použití rozptýlené výztuže na vysokohodnotný beton není výjimkou. V dnešní době je možné vyrábět dobré vysokohodnotné betony s rozptýlenou výztuží, ale ne všechna rozptýlená výztuž je vhodná, protože nemá potřebné fyzikální vlastnosti na tento typ betonu. Jako nejvhodnější rozptýlená výztuž se pro vysokohodnotné betony hodí uhlíková výztuž. Kromě fyzikálních vlastností rozptýlené výztuže je vhodné myslet i na její velikost. V případě použití kratších rozměrů drátků dojde ke zvýšení počtu drátků na  $1 \text{ m}^3$  a tím se zlepši homogenita směsi. [5]

Rozptýlená výztuž se používá u vysokohodnotných betonů zejména v místech, kde je požadována vysoká pevnost v tahu za ohybu. V takovém případě je stupeň vyztužení tak vysoký, že by beton nešlo dobře zavibrovat a cena této výztuže by byla moc vysoká. Samotná rozptýlená výztuž zlepšuje houževnatost a požární odolnost betonu. Dojde také ke zlepšení pevnosti v tahu ohybem a hlavně selepší chování betonu po dosažení meze pevnosti. Hlavní omezení použití rozptýlené výztuže v betonech je zhoršení zpracovatelnosti čerstvé směsi. Při vysoké dávce rozptýlené výztuže může stoupnout cena  $1 \text{ m}^3$  až o 100 %, proto použití tohoto typu výztuže musí být opodstatněno. [5]

## 2.5. Lehký vysokohodnotný beton

Lehký beton se vyznačuje značně nižší objemovou hmotností oproti běžnému betonu. Zatímco běžný beton má objemovou hmotnost okolo  $2300 \text{ kg/m}^3$ , tak lehký beton má objemovou hmotnost pod  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Takové snížení objemové hmotnosti znamená, že vlastní hmotnost konstrukce již nepředstavuje tak velkou část zatížení. V případě prefabrikované výroby může nižší hmotnost pozitivně ovlivnit cenu přepravy a manipulace na stavbě. [8]

Při nižší objemové hmotnosti se většinou zhorší pevnost betonu. Není to ale podmínkou, velice záleží na kvalitě zvoleného lehkého kameniva. V zásadě se používá několik způsobů jak



vyrobit lehký beton. Jedním z nich je využití pórovitosti kameniva, takovému betonu se říká mezerovitý. Nepřímo lehčené betony jsou vylehčeny pomocí lehkého a pórovitého kameniva. Dalším způsobem je použití plynotvorné látky při výrobě čerstvé směsi. Díky tomuto plynu vzniknou v cementové pastě póry. Takto vzniklým betonům se říká pórobetony. Jednotlivé způsoby lze též mezi sebou kombinovat. [8] [11]

Lehké betony lze rozdělit do tří kategorií. První je tepelně izolační lehký beton. Tento beton má velmi nízkou objemovou hmotnost, ale taky nízkou pevnost v tlaku a ohybu. Používá se hlavně pro konstrukce, které nevyžadují vysokou pevnost, ale hlavním požadavkem je zlepšení izolačních vlastností. Dalším příkladem jsou konstrukčně-tepelně izolační lehké betony. Tento druh lehčeného betonu má vyšší pevnost, který se hodí se pro výrobu tvárnic, či prefabrikovaných dílců. Posledním typem je konstrukční lehký beton. Tento beton nejčastěji využívá lehčeného kameniva. Z lehčeným betonů mají nejvyšší pevnosti a mohou být vyráběné jako samozhutnitelné. [8] [11]

Největší výhodou lehkých betonů tedy je snížení objemové hmotnosti, což vede ke snížení zatížení na konstrukci. Oproti běžným betonům je tedy možné zmenšení průřezu při stejném stupni vyztužení, nebo snížení stupně vyztužení a ponechání velikosti průřezu. Další výhodou je zlepšení tepelně izolačních vlastností a lepší požární odolnost. [8]

### **3. Složení vysokohodnotného betonu**

Velmi důležitým krokem pro správné mechanické vlastnosti vysokohodnotných betonů je výběr kvalitních materiálů. Špatná kvalita, nebo špatně zvolená složka receptury může mít za následek nesplnění požadavků na daný typ betonu.

#### **3.1. Cement**

Cement je duší betonu a jeho správný návrh je velmi důležitý. Výběr portlandského cementu je důležitý jak z hlediska náběhu rychlostí pevností, tak z hlediska výsledných pevností. Cement také do jisté míry ovlivňuje reologii čerstvé směsi díky vodnímu součiniteli. Dávka cementu by se měla pohybovat od 450 kg/m<sup>3</sup> do 600 kg/m<sup>3</sup>. Vyšší dávka cementu už nezvýší konečné pevnosti, ale nadbytečný cement začne působit jako filer. [5]

#### **3.2. Kamenivo**

Z důvodu nízkého vodního součinitele, který zajistí velmi kompaktní a tuhou cementovou matici, je kamenivo nejslabším článkem betonu z hlediska pevností. Správný výběr kameniva a jeho důsledná kontrola je pro kvalitní beton nezbytná. Vysokohodnotné betony obsahují většinou drobné kamenivo, ale použití hrubší frakce se nemusíme bránit. Díky velké dávce cementu a vysokému obsahu příměsí je zabráněno segregaci a hrubší kamenivo se projeví v menší spotřebě vody. [5]

### 3.3. Voda

Voda je velmi významnou složkou betonu. Záměsová voda plní funkci hydratace cementu a také má významný vliv na reologii čerstvé směsi. Pokud je ve směsi nedostatečné množství vody, dochází k flokulaci. To znamená, že nenasycená zrna cementu tvoří shluky, které obalí vodu. Ta pak nemůže ovlivnit chování čerstvé betonové směsi. Řešením je použití vyšší dávky vody. Vyšší dávka vody s sebou nese zhoršení vlastností a trvanlivosti zatvrdlého betonu. Negativní účinky vysokého obsahu odstraňují plastifikátory, které umožňují dosáhnout požadované reologie směsi s malou dávkou vody. [5]

#### 3.3.1. Vodní součinitel

Vodní součinitel je poměr hmotností vody k hmotnosti cementu.  $w = v/c$  (1.) Tento vzorec ovšem nelze použít, pokud se ve směsi nachází příměsi. Proto je třeba uvádět i hodnotu vodopojivového součinitele a vzorec tedy vypadá  $w = \frac{v}{c+k*x}$  (2.) Hodnota K se liší v závislosti na zvolené příměsi. [5]

### 3.4. Přísady

Hlavní používanou přísadou do vysokohodnotných betonů je plastifikátor. Plastifikátor má za úkol dispergovat cementová zrna, která ztratí sklon k tvorbě shluků a tím umožní snížení dávky záměsové vody. V dnešní době existuje velké množství plastifikátorů a všechny nejsou stejně účinné hlavně v kombinaci s nízkým vodním součinitelem. [5]

### **3.5. Příměsi**

Příměsi do betonu se obecně dělí na dva typy.

1. Interní příměsi, které za normální teploty netvrdnou a neúčastní se chemických reakcí. Plní spíše funkci mikrofileru a vylepšují křivku zrnitosti.
2. Latentně hydraulické příměsi, nebo pucolánově aktivní příměsi se do HPC přidávají z důvodu zlepšení reologických vlastností a snížení jednotkové ceny.

Při volbě příměsí se musí postupovat opatrně. Ne všechny příměsí jsou stejně reaktivní jako portlandský cement a mohou ovlivnit počáteční pevnosti. [4] [5]

#### **3.5.1. Křemičitý úlet**

Mikrosilika je velmi jemný prášek tvořený částicemi o velikosti  $0,1 - 0,2 \mu\text{m}$ . Mikrosilika je dostatečně jemná aby vyplnila mezery mezi zrny cementu a tím tak přispěla k vylepšení zrnitosti nejjemnějších zrn. To má za následek zvýšení počátečních i koncových pevností betonu. Optimálně by se měla dávkovat od 5 do 10 % hmotnosti cementu. [4] [5]

#### **3.5.2. Metakaolín**

Metakaolín je výpalek přírodních kaolínových minerálů. V porovnání s mikrosilikou má schopnost až dvojnásobné pucolánové reakce. Jeho výhodou je také světlá barva a hodí se například do pohledového betonu s požadavkem na světlou barvu. Velikost částic se pohybuje mezi  $1 - 10 \mu\text{m}$ .

#### **4. Odolnost HPC**

Odolnost betonu je jeho vlastnost, kterou nelze jednoznačně vyjádřit jako například pevnost betonu v tlaku. Neexistuje žádný postup jak stanovit odolnost betonu. Už jenom vliv působení každého negativního činitele na beton se může lišit. Odolnost betonu úzce souvisí s trvanlivostí. Platí zde přímá úměra. Čím je lepší odolnost betonu, tím je delší trvanlivost. Obecně můžeme říci, že vlivy ovlivňující trvanlivost betonů lze rozdělit na vnitřní a vnější. V případě vnitřního vlivu se jedná převážně o alkalicko-křemičitou reakci. Vnějšími vlivy mohou být oxid uhličitý, zmrazovací cykly, bakterie, ohrus povrchu betonu. [5]

Odolnost a trvanlivost by už měla být díky samotné podstatě HPC velmi vysoká. Vysokohodnotné betony se většinou navrhují pečlivě a bývají vybrány ty nejlepší materiály. Pokud tedy víme, jakému prostředí bude beton vystaven, navrhujeme ho tak, aby jeho trvanlivost byla co největší. Díky krátké historii HPC se jejich použití zatím nedá hodnotit z dlouhodobého hlediska a musí se vycházet z laboratorních zkoušek, které se snaží co nejvíce napodobit nepříznivé vnější prostředí. [5]

##### **4.1. Mechanická odolnost**

Odolnost proti mechanickému poškození je přímo úměrná fyzikálním vlastnostem betonu. Zvláště pevnosti v tlaku a v tahu. Důležitou roli v odolnosti betonu a kvalitě jeho povrchu hraje ošetřování betonu. Díky nízkému vodním součiniteli a velmi tuhé cementové matici má HPC velmi vysokou odolnost proti obrušování povrchu a mechanickému poškození. Díky této vlastnosti se tento beton hodí na použití velice zatěžovaných a exponovaných míst jako letiště, silniční povrchy a jiné. [1]

## **4.2. Vliv vysokých teplot a požární odolnost**

Beton je ve své podstatě nehořlavý materiál a při působení teplot do 100°C nemění své vlastnosti. Pokud na beton začne působit vyšší teplota, než 150°C začne se projevovat rozdílná tepelná roztažnost cementové matrice a zrn kameniva. Při vysokých teplotách nad 250°C se začíná měnit i struktura betonu díky chemickým změnám. Hlavním problémem HPC je hutná mikrostruktura cementové matrice. V ní se nachází určitá vlhkost a při působení vysokých teplot se tato vlhkost mění na páru. Tlak páry v pórech betonu způsobuje porušení betonu a odprýskání povrchu betonu. Se zvyšující se vlhkostí stoupá také riziko porušení konstrukce. Vhodným opatřením proti požáru a vysokým teplotám je přidání syntetických vláken. Při vysokých teplotách se tato rozptýlená výztuž začne tavit a vytvoří únikové cesty pro páru. [1]

## **4.3. Chemická odolnost**

Faktor řídící průběh nechtěných chemických reakcí je difuze cementové pasty. Difuzivita cementové pasty klesá spolu s vodním součinitelem. Oproti běžným betonům má HPC lepší chemickou odolnost kvůli mnohem nižší permeabilitě. Vysokohodnotný beton ovšem dokáže jen chemické napadení zpomalit, není zcela odolný a pro chemikálie nepředstavuje velikou překážku. Chemikálie vnikají do betonu kapiláry, ale pokud se v betonu nachází trhliny, je chemická reakce urychlena. [5]

## **4.4. Mrazuvzdornost**

Mrazuvzdornost se týká jen konstrukcí, které jsou v exteriéru a podléhají opakovaným zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Problém nastává, jakmile je systém póru naplněný vodou, která v teplotách pod 0°C v těchto pórech zamrzá. Voda postupně zamrzá od nejširších póru

až po úzké kapiláry. Voda při změnách teploty mění svůj objem a kvůli nestlačitelnosti kapalin ničí strukturu betonu. V našem podnebí jsou betony vystaveny opakovaným zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Tyto cykly jsou často spojené s působením rozmrazovacích solí. Pak jde tedy o kombinaci působení chemických vlivů a nízkých teplot. [1]

#### **4.5 Biologická odolnost**

Při splnění několika podmínek jako je dostatek vlhkosti, tepla a světla, se mohou na povrchu vyskytovat bakterie, které způsobují degradaci betonu. Některé mikroorganismy produkují kyseliny, které reagují s betonem a ničí jeho povrchovou vrstvu. Takové ohrožené provozy jsou například hospodářské budovy, čpavkové prostředí, nebo vodohospodářské stavby jako kanalizace. Tyto konstrukce se často nachází v exteriéru a v kombinaci se zmrazovacími cykly bývá degradace velmi rychlá. Vhodná opatření proti tomuto poškození je vytvoření co nejvíce hutné cementové matrice. [1]

## 5. Ošetřování HPC

Ošetřování je z důvodu dodržení kvality betonu velice důležitá část pracovního procesu, která bývá často opomíjena. Čerstvě uložený beton se musí chránit zejména proti nepříznivým povětrnostním vlivům, nárazům a jiným mechanickým poškozením. Povrch uloženého betonu je velmi důležité bezodkladně začít vhodným způsobem ošetřovat a udržovat ve vlhkém stavu. Vhodným způsobem ošetřování je například překrytí folií, nebo vlhkým materiálem proti zamezení úniku vlhkosti, či speciálním nástřikem snižujícím odpařování vody z betonu. Zjednodušeně se dá říci, že je třeba beton ošetřovat, dokud nedosáhne 50 % požadované pevnosti v tlaku. Doba ošetřování se může lišit v případě, nastanou-li nepříznivé podmínky při zrání betonu. [11]

Z hlediska vzniku trhlin nemá pozdní ošetřování příliš smysl, ale je lepší než nechat beton neošetřovaný. Druhů smršťování existuje několik. Smršťování je velice komplexní problém, proto byl v této práci jen lehce nastíněn. Vysokohodnotné betony mají velmi nízký vodní součinitel, proto nedochází k dokonalé hydrataci cementu. Z tohoto důvodu je důležité začít ošetřovat beton co nejdříve. [5]

Při špatném ošetřování může beton rychle vysychat a tím vzniknou nežádoucí trhlinky způsobené smršťováním. Bez ošetřující vody může být narušena hydratace cementové matrice, která negativně ovlivní vývoj konečných pevností a beton nebude mít dostatečnou kvalitu na dosažení požadovaných vlastností. [11]

Při zrání betonu není dobré vystavovat beton nízkým teplotám zvláště pod 0°C. Případně beton vhodně chránit například vyhříváním. Vliv vysokých teplot je také nežádoucí, zejména nad 65°C. To může nastat při betonáži masivních konstrukcí, nebo při oteplování betonu. [11]

Zatím ne příliš používaným typem ošetřování je vnitřní samoošetřování betonu. Díky nízkému vodnímu součiniteli HPC je velmi obtížné ošetřovací vodě vnikat do betonu. Samoošetřování betonu je založeno na principu nasáknutí pórovitého kameniva vodou, které zajistí postupné uvolňování této vody.



## **Praktická část**

## **6. Zkušební metody**

V této kapitole budou popsány zjednodušené postupy zkoušek na základně příslušných platných norem. Jedná se konkrétně o normové zkoušky na malty, které byly používány při zkoumání faktorů ovlivňujících návrh UHPC. Z těchto malt byly následně vytvořeny zkušební tělesa a to trámečky o rozměrech 40x40x160 mm. Normové zkoušky na čerstvý a zatvrdlý beton byly použity až u finálního betonu.

### **6.1. Příprava zkušebních malt**

Všechny složky receptury byly naváženy na váze s přesností na 1 g. Do míchací nádoby byla nejdříve nalita voda s plastifikátorem a přidán cement. V první fázi se spustilo míchání nízkou rychlostí a směs se míchala 1 minutu, po které následovalo 30 sekundové přerušení. Druhá fáze začala mícháním nízkou rychlostí po dobu 30 vteřin a za stálého míchání bylo přidáváno kamenivo. Následně byla směs míchána vysokou rychlostí po dobu 30 sekund. Následovala přestávka na kontrolu dobrého promísení. Na konci druhé fáze byla směs promíchána 60 sekund vysokou rychlostí.

Následně byla směs umístěna do forem, zhutněna po dobu 120 sekund a uložena ve vlhkostní skříni. Po 24 hodinách byla betonová tělesa odformována a uložena do kádě s ošetřující vodou. [12]

### **6.2. Stanovení konzistence čerstvé malty**

Před každou zkouškou byla deska stráscacího stolku a vnitřní povrch zkušební kužele navlhčen. Kužel se následně umístil do středu desky a naplnil ve dvou vrstvách. Každá vrstva byly udusána 10 lehkými údery dusadla tak, aby se kužel rovnoměrně naplnil. Kužel musel být

přítlačován k desce tak, aby neunikala čerstvá směs. Po udusání se směs zarovnala s horním okrajem kužele. Zbytky záměsi byly odstraněny ze střešací desky. Po 15 vteřinách byl kužel zvednut. Následně byla směs rozlita 15 nárazy v konstantní frekvenci jednoho nárazu za 1 vteřinu. Výsledek zkoušky je aritmetický průměr dvou na sebe kolmých hodnot rozměrů rozlité. [13]

*Obrázek 6.2.1 a 6.2.2 – porovnání konzistence tuhé a tekuté čerstvé betonové směsi*



### **6.3. Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku**

Zkušební tělesa byla zkoušena v předem předepsaném stáří a to 24 hodin a 28 dnů. Tělesa byla po vyjmutí očištěna od zbytků jiného materiálu. Těleso se poté umístilo do zkušebního lisu kolmo na směr plnění. Zkušební vzorek byl zatěžován bez rázu rovnoměrnou rychlostí 50 N/s až do zlomení zkušebního vzorku. Zaznamenala se maximální síla zatížení a zlomená zkušební tělesa byla uchována pro zkoušku pevnosti v tlaku. [14] Výsledná pevnost v tahu za ohybu byla počítána ze vztahu:

$$f_{cf} = 1,5 \frac{F * l}{b * d^2} [MPa] \quad (3)$$

- F maximální zatížení na zkušební těleso v N
- l Vzdálenost mezi osami podpěrných válců
- b šířka zkušebního tělesa v mm
- d výška zkušebního tělesa v mm

Při zkoušce pevnosti v tlaku byl zlomek zkušebního tělesa uložen do zkušební lisu kolmo na směr plnění, tak aby konce přesahovaly za hranu tlačných desek. Zlomek trámečku byl zatěžován bez rázu konstantní rychlostí 2 400 N/s do porušení vzorku. Zaznamenala se maximální síla zatížení a pevnost tlaku byla vypočítána ze vztahu:

$$f_c = \frac{F_c}{1600} [MPa] \quad (4)$$

- F<sub>c</sub> nejvyšší dosažené zatížení na zkušební těleso v N

*Obrázek 6.3.1 - Vyhovující způsob porušení zkušebních vzorků v tlaku*



#### **6.4. Výroba a ošetřování zkušebních betonových těles**

Výroba betonových těles probíhala v laboratorní míchačce. Do míchačky byly postupně vloženy všechny složky receptury a směs byla míchána, dokud nedošlo k úplné homogenizaci směsi. Po dostatečném promíslení směsi byly předem připravené formy naplněny čerstvým betonem. Formy bylo nutné před plněním natřít tenkou vrstvou separačního oleje. Poté byla směs s formou umístěna na vibrační stolek a byla zhutněna. Čerstvý beton byl hutněn jen po nezbytnou dobu, aby nedošlo k převibrování. Zkušební tělesa byla ponechána ve formě necelých 24 hodin. Po vyjmutí byla tělesa označena a uložena do ošetřující vody. [15]

#### **6.5. Zkouška rozlitím**

Střásací stolek byl umístěn na rovný a vodorovný povrch. Před zkoušením byl stolek a zkušební forma navlhčena bez nadbytečné vlhkosti. Forma byla následně umístěna na střed horní desky a byla udržována v této poloze přišlápnutím. Forma byla naplněná ve dvou vrstvách. Každá vrstva byla zarovnána lehkým dusáním 10 rázy. Po naplnění se zarovnála směs podle horní hrany zkušební formy a plocha desky očištěna od betonu. Po 30 sekundách po naplnění byla forma svisle zvednuta a horní deska byla 15krát volně spuštěna. Poté byl změřen největší rozměr rozlití ve dvou směrech. Rozlití betonu bylo kontrolováno s ohledem na segregaci, ke které nesmělo dojít. Výsledkem zkoušky byl aritmetický průměr dvou hodnot rozlití zaokrouhlený na nejbližších 10 mm. [16]

#### **6.6. Pevnost v tlaku zkušebních těles**

Tělesa byla vyjmuta z kádě s ošetřující vodou, očištěna a umístěna do zkušebního lisu kolmo na směr plnění. Specifikace zkoušených těles bude vždy dále v práci zmíněna u daných výsledků. Na zkušebním lisu byla nastavena konstantní rychlost zatěžování a to 0,6 MPa/s.

Zatěžování probíhalo konstantně a bez nárazů. Bylo zaznamenáno maximální dosažené zatížení v kN. Důležité bylo také posouzení způsobu porušení, zda bylo vyhovující dle příslušné normy. [17] Pevnost v tlaku bylo vypočítána ze vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c} [MPa] \quad (5)$$

F maximální zatížení při porušení v N

A<sub>c</sub> průřezová plocha tělesa v mm<sup>2</sup>

### 6.7. Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles

Zkušební tělesa byla vyjmuta z ošetřující vody a jejich povrch byl osušen a očištěn. Vzorky se uložily do zkušebního lisu kolmo na směr plnění. Na těleso musely dosednout všechny podpěrné válečky. Vzorky byly zatěžovány konstantní rychlostí 0,06 MPa/s. Zatěžování probíhalo plynule a bez nárazu. Nakonec byla zaznamenána síla maximálního zatížení působící na zkušební těleso. [18]

Pevnost v tahu za čtyřbodovém ohybu byla vypočítána pomocí vztahu:

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2} [MPa] \quad (6)$$

F maximální zatížení v N

l vzdálenost mezi opěrnými válečky v mm

d<sub>1</sub> a d<sub>2</sub> rozměry příčného řezu tělesa v mm

Pevnost v tahu za tříbodovém ohybu byla vypočítána pomocí vztahu:

$$f_{cf} = \frac{3*F*l}{2*d_1*d_2^2} [MPa] \quad (7)$$

F      maximální zatížení v N

l      vzdálenost mezi opěrnými válečky v mm

d<sub>1</sub> a d<sub>2</sub> rozměry příčného řezu tělesa v mm

## 6.8. Hloubka průsaku tlakovou vodou

Plocha tělesa, která byla vystavena působení tlakové vody, byla zdrsňena ocelovým kartáčem. Zkušební těleso bylo upnuto do zkušebního zařízení a vystaveno vodnímu tlaku 500 kPa po dobu 72 hodin. Během této doby nesmělo dojít k průsaku vody mimo zkušební těleso, jinak by byla zkouška neplatná. Po skočení předepsané doby, bylo těleso upnuto do zkušebního lisu a rozlomeno v polovině kolmo k povrchu, na který působil vodní tlak. Na lomové ploše se zvýrazní zřetelný průsak vody a změří se jeho největší hloubka na celé mm. [19]

## 6.9. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku

Zkušební těleso po vyjmutí z kádě a očištění, bylo opatřeno dvěma úchylkoměry na protilehlých stranách. Napětí na těleso bylo plynule zvyšováno, dokud nebylo rovno jedné třetině pevnosti v tlaku. Napětí bylo udržováno po dobu 60 sekund. Poté bylo napětí postupně snižováno stejnou rychlostí, jako při zatěžování. Tento cyklus proběhl třikrát vždy se stejnou rychlostí zatěžování a odlehčování. Napětí se vždy udržovalo po dobu 60 sekund. Po dokončení všech měření bylo těleso zatěžováno až do porušení. [20] Statický modul pružnosti v tlaku byl vypočítán vztahem:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} [MPa] \quad (8)$$

$\sigma_a$       horní zatěžovací napětí v N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_b$       základní napětí v N/mm<sup>2</sup>

$\varepsilon_a$       průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí

$\varepsilon_b$       průměrné poměrné přetvoření při základním zatěžovacím napětí



## 7. Vstupní položky

Specifikace všech použitých materiálů ve formě technických listů je v příloze.

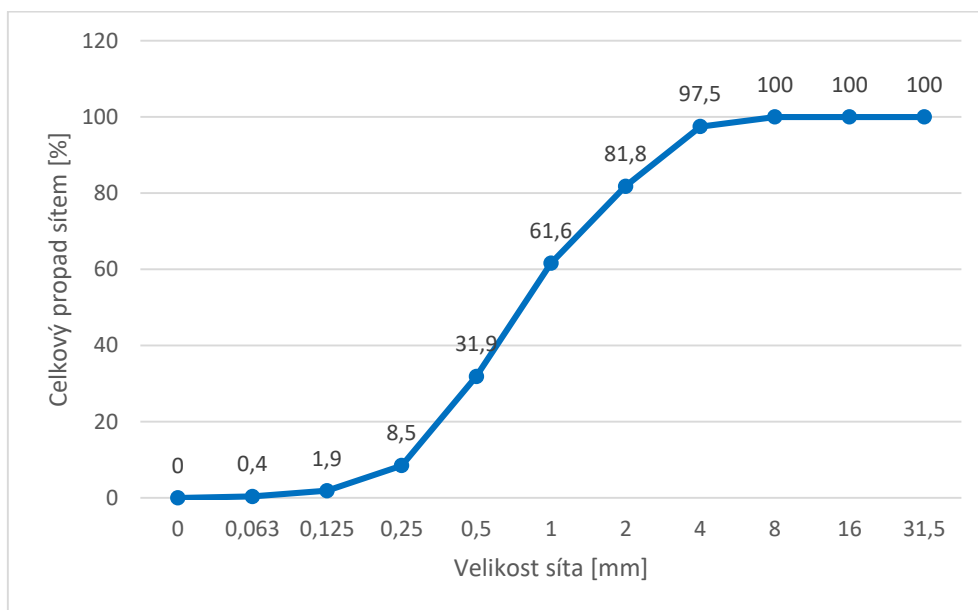
### 7.1. Kamenivo

Pro účel této práce bylo použito drobné těžené kamenivo 0-4 mm od dodavatele Českomoravský štěrk, a.s. ze štěrkopískovny Tovačov. Na kamenivu byla provedena zkouška síťového rozboru. Výsledky zkoušky jsou zobrazeny v tabulce 7.1.1 a v grafu 7.1.1. Kvůli použití kameniva pro tenkostěnné konstrukce a povahy betonu UHPC byla kamenivu upravena frakce na 0-2 mm. [21]

*Tabulka 7.1.1 - Síťový rozbor kameniva Tovačov 0-4*

Velikost síta	Zbytek na síti	Dílčí zbytek na síti	Celkový zbytek na síti	Celkový propad sítím
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
8	0,0	0,0	0,0	100,0
4	25,4	2,5	2,5	97,5
2	157,0	15,7	18,2	81,8
1	201,4	20,1	38,4	61,6
0,5	296,8	29,7	68,1	31,9
0,25	233,8	23,4	91,5	8,5
0,125	66,4	6,6	98,1	1,9
0,063	14,8	1,5	99,6	0,4
0	4,0	0,4	100,0	0,0
Součet	999,6	100,0	-	-

*Graf 7.1.1 - Sítový rozbor kameniva Tovačov 0-4*



Pro návrh lehčené receptury bylo použito také lehčené kamenivo prachový Liapor frakce 0-1 a Liaver frakce 1-2.

## 7.2. Cement

Jako pojivo byl použit portlandský cement CEM I 52,5 R Cement Hranice TOPCEMENT s rychlým náběhem počátečních pevností.

## 7.3. Přísady

Superplastifikátor Sika ViscoCrete 2700 na bázi polykarboxylát éteru. Objemová hmotnost plastifikátoru je 1,08 g/cm<sup>3</sup>. Obsah alkálií  $\leq 1,0\%$  a obsah chloridových iontů  $\leq 0,10\%$ . Obsah sušiny je 30% a pH 4.

Jako přísady upravující reologii byly použity CHRYSO® KRV 120-601, CHRYSO Chemie s.r.o. a čisté PCE 50% od firmy sika. Čisté PCE není volně prodejně a proto nemá specifikaci ve formě technického listu.

#### **7.4. Příměsi**

Jednou z použitých přísad byla prášková mikrosilika CHRYSO Silica, CHRYSO Chemie s.r.o., která se v betonové směsi chová jako pucolánově aktivní složka a vylepšuje vlastnosti betonu.

Druhou použitou přísadou byl tepelně upravený čistý kaolin (metakaolin) Metaver I, NEWCHEM, který reaguje s volným portlanditem a vytváří dodatečné CSH fáze.

#### **7.5. Voda**

Jako záměsová voda byla použita klasická pitná voda z vodovodního řadu, která splňuje nároky dle ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu. [22]

#### **7.6. Výztuž**

Pro návrh vyztužených směsí bylo použito ocelových drátků Dramix OL 13/20, vláken Chrysofibre S25, polypropylenových vláken s krátkým řezem Kalcifil S. Pro vyztužení byly použity také rohože 2D SITgrid200KE a 3D SITgrid701KE.

## 8. Návrh složení směsi

Cílem návrhu bylo zkoumat různé faktory ovlivňující návrh betonové směsi a následné vlastnosti zatvrdlé cementové matrice. Tyto zkoušky byly prováděny na malých trámečcích z důvodu lépe odpovídající povaze tenkostěnných konstrukcí.

Návrh betonové záměsi probíhal v několika etapách. Nejdříve byl zkoumán bod nasycení plastifikátorem. Další etapou bylo zjistit optimální dávku kameniva a následný vliv vodního součinitele s ohledem na reologii směsi. Po těchto zkouškách následovalo zkoušení příměsí. V poslední etapě byl zkoumán vliv vyztužení cementové matrice pomocí drátků, vláken a rohoží.

Z každé namíchané směsi byly vyrobeny zkušební trámečky o rozměrech 40x40x160 mm. Na nich byla provedena zkouška v tahu ohybem a na zlomcích z této zkoušky byla provedena zkouška pevnosti v tlaku. Obě zkoušky byly prováděny po 24 hodinách a po 28 dnech.

Pomocí těchto zkoušek byly navrhnuté finální záměsi na nichž byly provedeny zkoušky na jejich vlastnosti.

### 8.1. Bod nasycení plastifikátorem

Předmětem první zkoušky bylo zjistit bod nasycení plastifikátorem. Po dosažení toho bodu se účinnost plastifikátoru výrazně nezvyšuje a konzistence se mění už jen pozvolna. Jako plastifikační přísada byl použit ViscooCrete 2700 od firmy Sika. Pro porovnání byly použity také přísady VMA ovlivňující zpracovatelnost. Byly to čisté 50 % PCE a přísada KRV. Účinnost plastifikátoru byla ověřena na cementové maltě.

Zkouška byla provedena s vodním součinitelem  $w = v/c$  (9), poměr písku a cementu byl 1:1. Kamenivo bylo drobné těžené kamenivo frakce 0-2. Superplastifikátor má doporučené dávkování 0,2 %-2,5 % hmotnosti cementu. Bylo zvoleno rozmezí 0 % – 0,5 % – 1 % – 1,5 % – 2% hmotnosti cementu. Přesné receptury jsou uvedeny v tabulce 8.1.1 – 8.1.3 Obsah sušiny byl

stanoven na 30 %. Voda obsažená v přísadě byla odečtena od záměsové vody, aby zůstal zachován vodní součinitel.

*Tabulka 8.1.1 - Receptura se superplastifikátorem ViscoCrete*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	650	650	650	650	650
Voda [l]	195	193	190	188	186
ViscoCrete 2700 [l]	0	3,25	6,5	9,75	13
Obsah sušiny [%]	0,00	0,15	0,30	0,45	0,60
Rozlití [mm]	178	138	188	255	290

*Tabulka 8.1.2 - Receptura s přísadou PCE*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	650	650	650	650
Voda [l]	195	193	190	188
PCE [l]	0	3,25	6,5	9,75
Obsah sušiny [%]	0,00	0,15	0,30	0,45
Rozlití [mm]	178	128	163	175

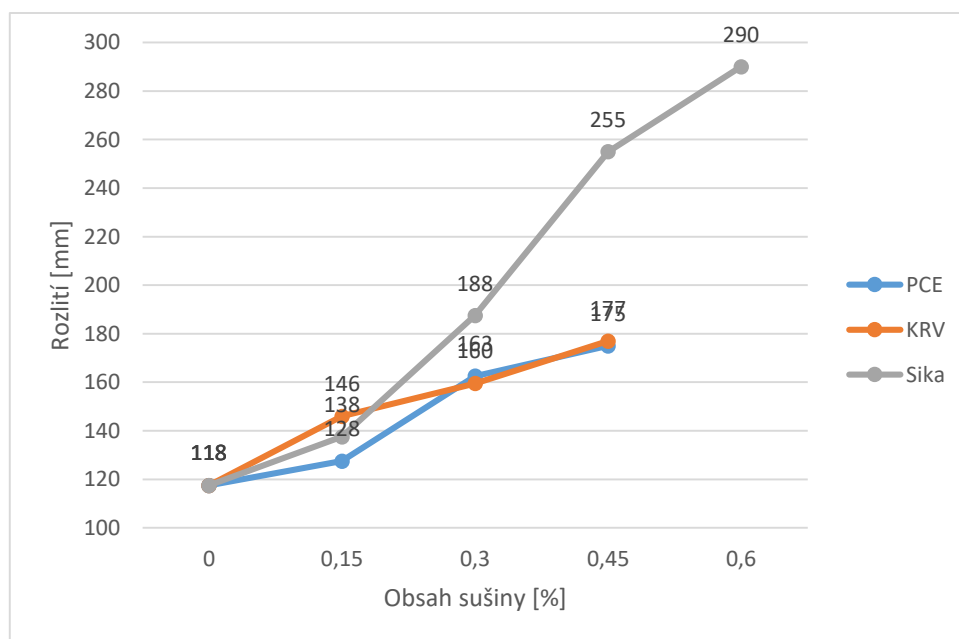
Tabulka 8.1.3 - Receptura s přísadou KRV

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	650	650	650	650
Voda [l]	195	193	190	188
KRV [l]	0	3,25	6,5	9,75
Obsah sušiny [%]	0,00	0,15	0,30	0,45
Rozlití [mm]	178	146	160	177

Zkouška rozlitím byla provedena pomocí střešacího stolku. Výsledkem zkoušky je aritmetická hodnota rozlití v mm. Minimální hodnota rozlití byla stanovena na 200 mm.

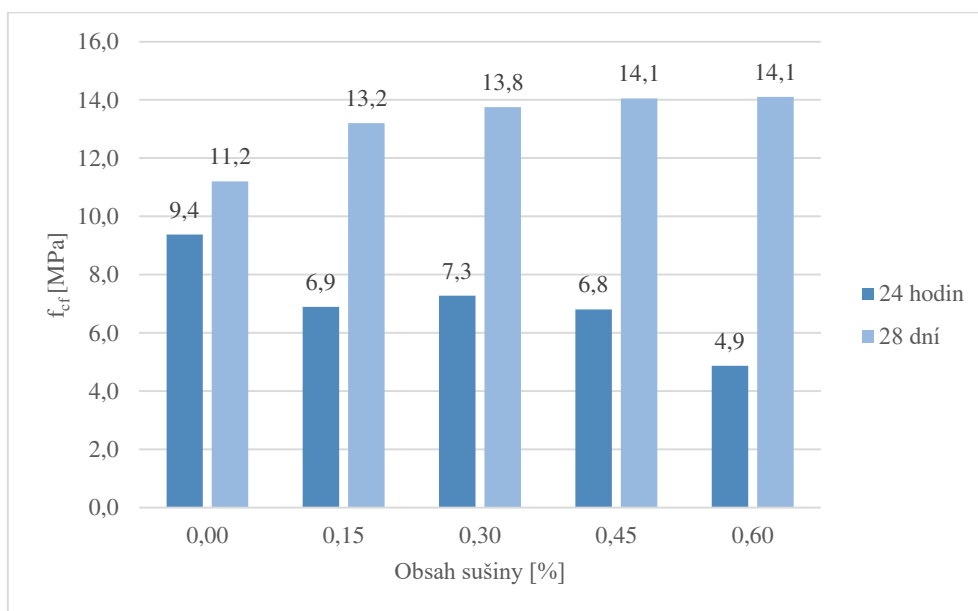
Porovnání účinnosti plastifikátoru a přísad VMA je znázorněna na Grafu 8.1.1. Zpočátku jde vidět stoupající tendence účinku plastifikátoru ViscoCrete. Po 4. záměsi, která obsahovala 1,5 % plastifikátoru na hmotnost cementu, jejíž účinnost stoupala pomaleji, ale stále strmě. Zatímco přísada KRV měla strmější náběh, její účinnost stoupala pomaleji. Příklad PCE měla pomalejší náběh, ale její účinnost byla téměř shodná s příměsí KRV. Jako nejvhodnější přísada byla vyhodnocena ViscoCrete 2700.

Graf 8.1.1 - Graf bodu nasycení přísadami

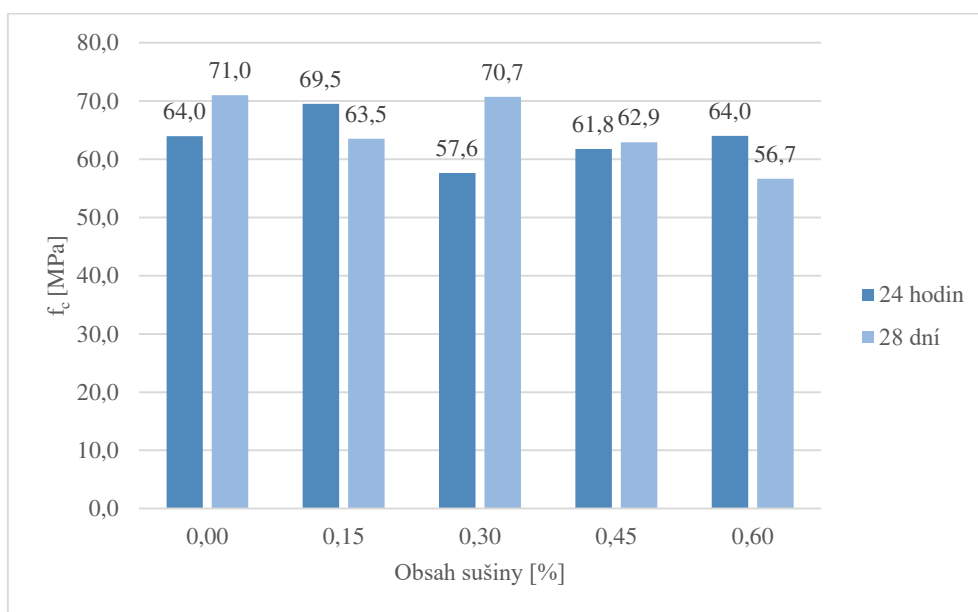


Na následujících grafech 8.1.2 a 8.1.3 jsou ukázány výsledky pevnostních zkoušek směsí se superplastifikátorem ViscoCrete 2700. Pevnost v tahu za ohybu po 24 hodinách měla se zvyšujícím se obsahem sušiny klesající tendenci. Avšak po 28 dnech tomu bylo zcela naopak a se zvyšujícím se obsahem sušiny pevnost v tahu za ohybu stoupala. To souvisí nejspíš s reologií čerstvé směsi. Čím lépe šla záměs zpracovat, tím lépe se zhutnila a měla kompaktnější cementovou matici. Hodnoty pevnosti v tlaku při použití superplastifikátoru mají zajímavé výsledky. Výsledné pevnosti po 24 hodinách nebyly příliš rozdílné. Ovšem po 28 dnech se u některých směsí pevnost v tlaku nezvýšila, ale naopak snížila. To může způsobovat vniknutí ošetřující vody do průřezů vzorků a tím zkreslení výsledků.

*Graf 8.1.2 - Pevnost v tahu za ohybu s ViscoCrete*

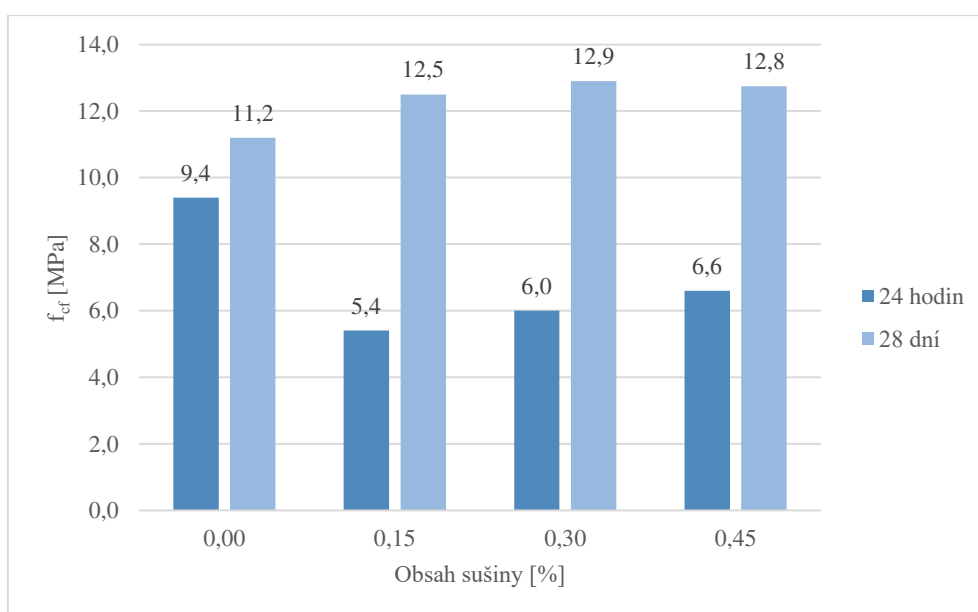


*Graf 8.1.3 - Pevnost v tlaku s ViscoCrete*



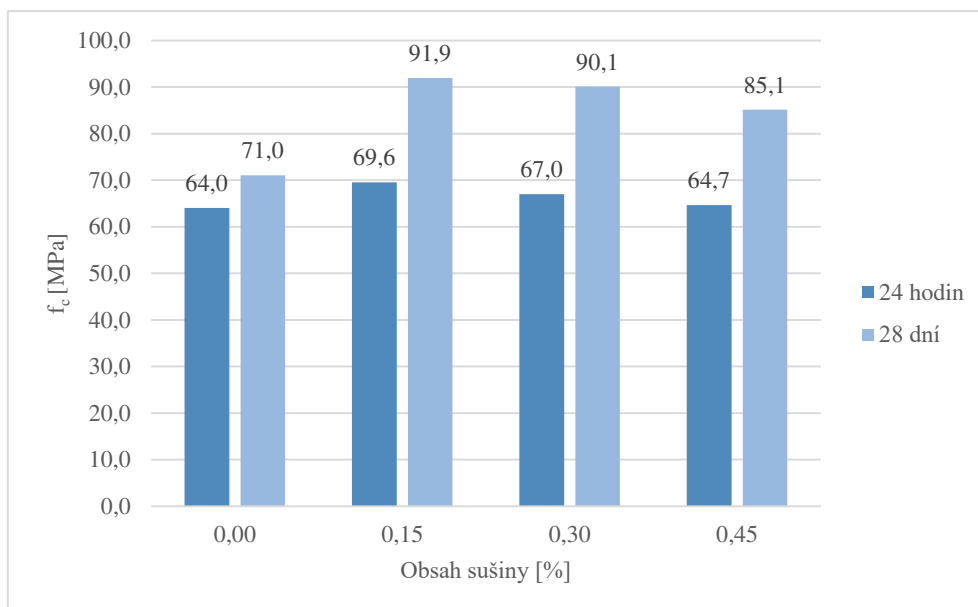
Při použití přísady PCE byly hodnoty pevnosti v tahu za ohybu po 24 hodinách menší, než referenční vzorek, ale se zvyšujícím se podílem sušiny jejich pevnost stoupala. Po 28 dnech byly hodnoty větší, než u referenčního vzorku. Shodně jako u superplastifikátoru, ale s přísadou PCE byly pevnosti nižší. Pevnosti v tlaku po 24 hodinách měly podobné hodnoty jako v případě použití ViscoCrete. Ovšem po 28 dnech byly pevnosti vyšší, ale se zvyšujícím se obsahem podílu sušiny pevnost klesala. Hodnoty jsou zaznamenány v grafech 8.1.4 a 8.1.5.

*Graf 8.1.4 - Pevnost v tahu za ohybu s PCE*



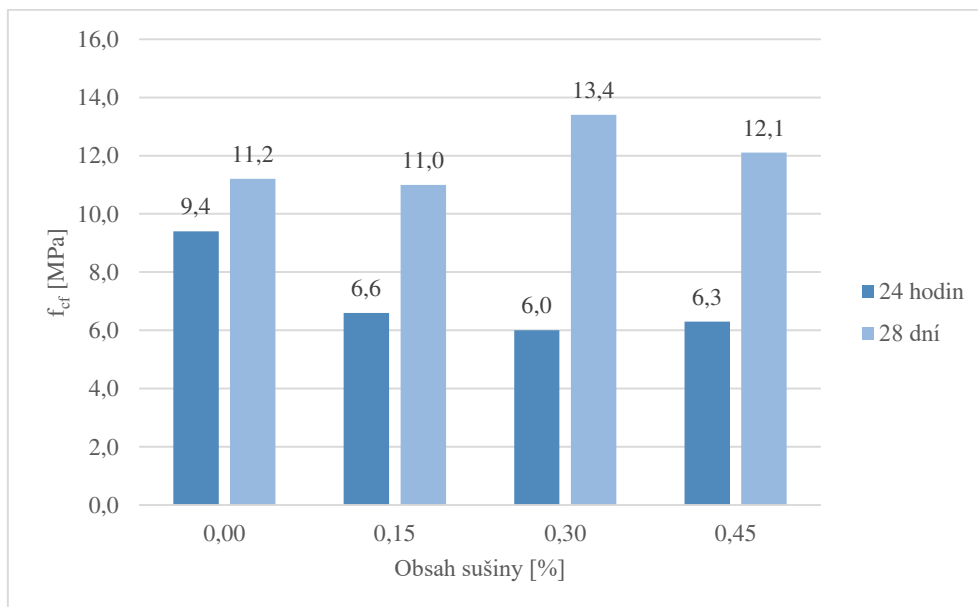


*Graf 8.1.5 - Pevnost v tlaku s PCE*

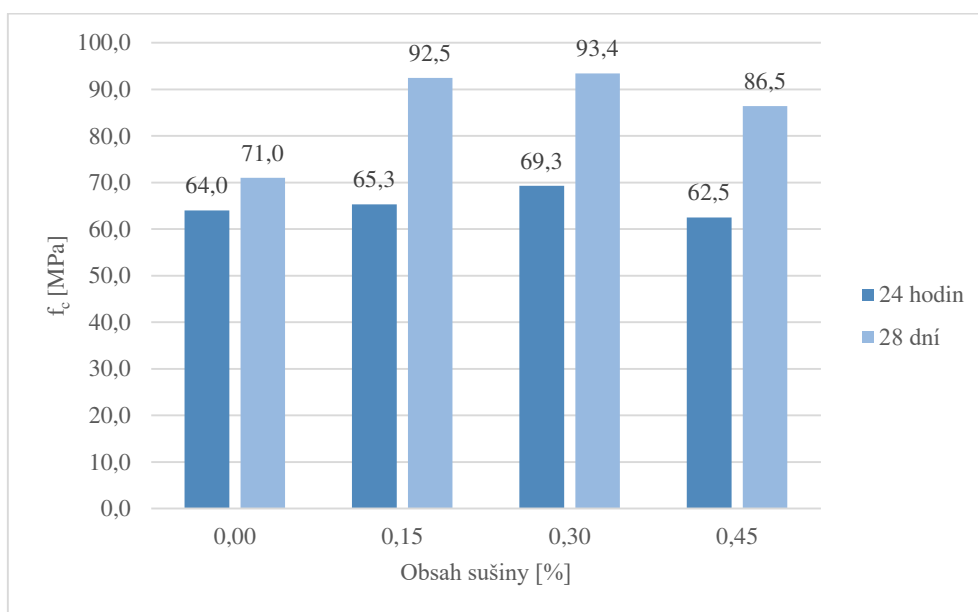


V grafech 8.1.6 a 8.1.7 jsou uvedeny hodnoty pevností s přísadou KRV. Pevnosti jsou podobné jako při použití přísady PCE.

*Graf 8.1.6 - Pevnost v tahu za ohybu s KRV*



*Graf 8.1.7 - Pevnost v tlaku s KRV*



Jako nejvhodnější přísada se tedy jeví superplastifikátor ViscoCrete 2700. Má nejlepší plastifikační účinky a vysoké počáteční pevnosti. V této fázi byla použita maximálně 2 % z hmotnosti cementu. Z grafu 8.1.1 můžeme vidět, že tendence účinku je stále stoupající. Dále v práci bylo proto použito vyšších dávek plastifikátoru v závislosti na úpravě receptur. Cílem bylo, aby rozlité na střešacím stolku bylo minimálně 200 mm.

Superplastifikátor ViscoCrete ovlivňoval kromě reologie čerstvé směsi i náběh počátečních pevností. Přísady PCE a KRV ovlivňovaly pouze reologii.

S úpravou reologie souvisí také úprava povrchu zatvrdlého betonu. Jak můžeme vidět na obrázku 8.1.1, tak při použití vyšší dávky plastifikátoru, má beton kvalitnější povrch. Na tomto obrázku bylo použito přísady KRV. Všechny trámečky byly hutněny stejnou dobu. Jediný rozdíl je v obsahu plastifikátoru.

*Obrázek 8.1.1 - Vliv plastifikátoru na povrch betonu, zleva 1,5 %, 1 %, 0,5 %*



## **8.2. Obsah kameniva**

Druhou etapou bylo zjistit vliv obsahu kameniva na reologii betonu. V tabulce 8.2.1 jsou uvedeny receptury na jednotlivé záměsi. Jako výchozí záměs, byla použita receptura z předchozí kapitoly s obsahem plastifikátoru 2 % hmotnosti cementu. Poměr kameniva byl odstupňován po 150 kg od poměru cementu a kameniva 1:1. Směs číslo 4 byla přidána jako střední hodnota mezi třetí a pátou směs pro upřesnění průběhu křivky zpracovatelnosti.

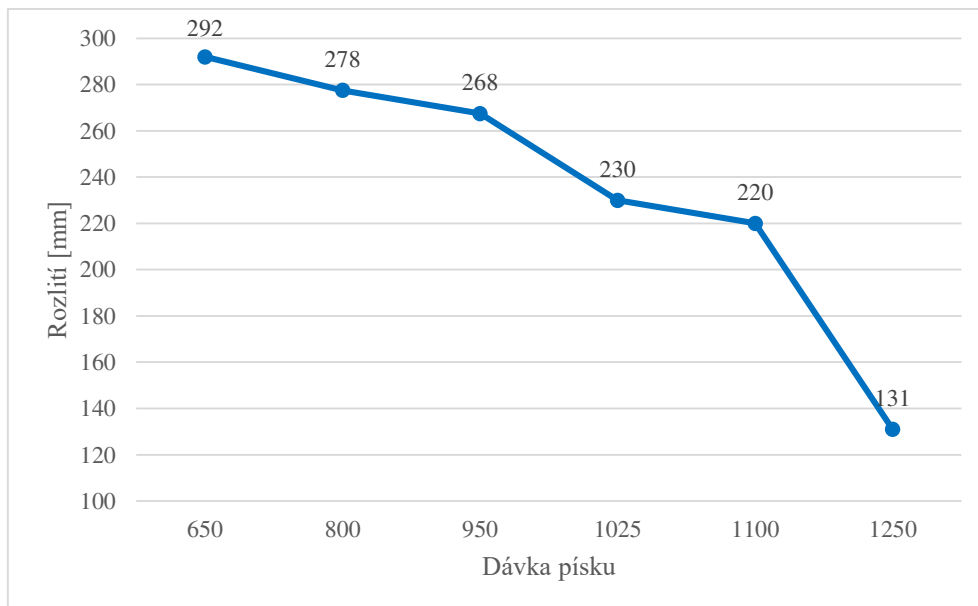
Zkoumat různé poměry frakcí kameniva by v této práci nemělo smysl, jelikož cílem návrhu je navrhnout směs UHPC pro tenkostěnné konstrukce. Maximální velikost zrna kameniva, s ohledem na možné vyztužení a tvar konstrukcí, byla stanovena na 2 mm.

Tabulka 8.2.1 - Receptura na porovnání obsahu kameniva

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	650	800	950	1025	1100	1250
Voda [l]	186	186	186	186	186	186
ViscoCrete 2700 [l]	13	13	13	13	13	13
Rozlití [mm]	292	278	268	230	220	131

V následujícím grafu 8.2.1 vidíme závislost dávky kameniva na rozlití. Při dávce kameniva a cementu 1:1 je rozlití největší. Po překročení hodnoty 1100 kg/m<sup>3</sup> lze vidět, že křivka zpracovatelnosti začala prudce klesat a při dávce 1250 kg/m<sup>3</sup> bylo rozlití menší než minimální stanovená hodnota 200 mm.

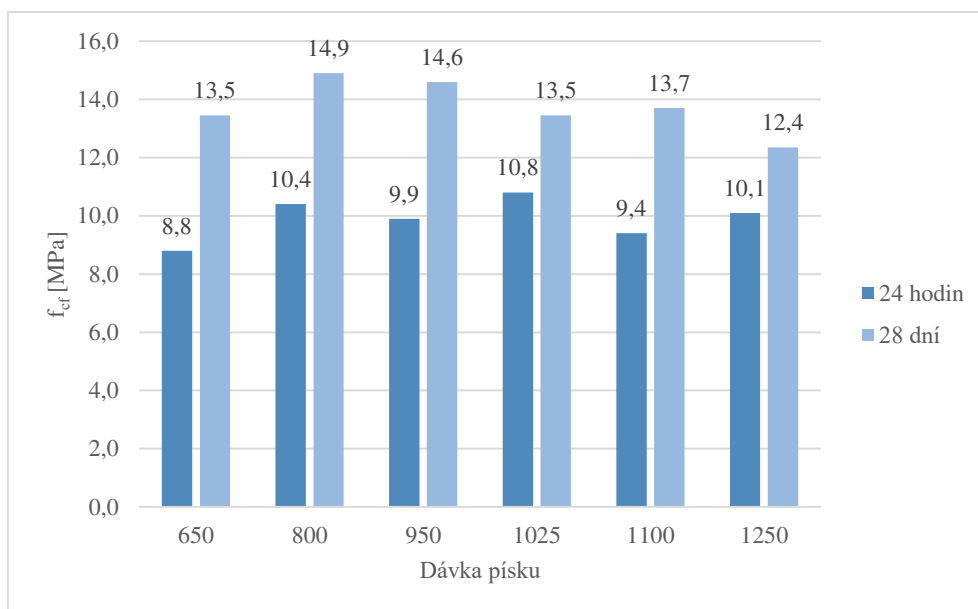
Graf 8.2.1 - Křivka zpracovatelnosti v závislosti na obsahu kameniva



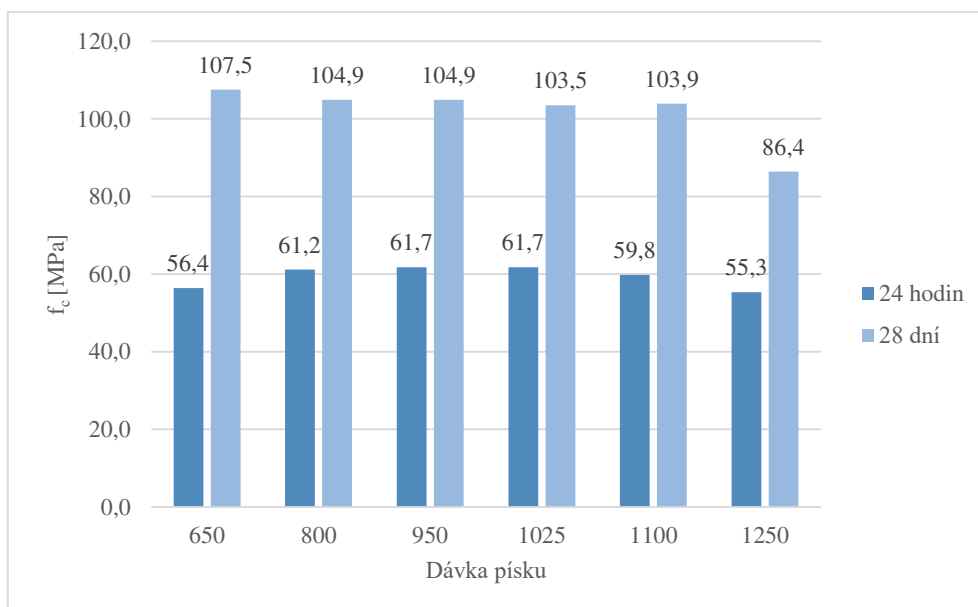
Z grafů 8.2.2 a 8.2.3 lze poznat, že obsah kameniva zatím neovlivnil pevnost v tahu za ohybu, ani pevnost v tlaku. Vodní součinitel této směsi je dost vysoký a nejslabším článkem

matrice je cement. Nedocházelo tudíž k porušení vzorku skrz zrna kameniva, ale v zatvrdlé cementové matrici.

*Graf 8.2.2 - Pevnost v tahu za ohybu s různým obsahem kameniva*



*Graf 8.2.3 - Pevnost v tlaku s různým obsahem kameniva*



Pro další postup s ohledem na reologii čerstvé směsi byla zvolena dávka kameniva na 1000 kg/m<sup>3</sup>.

### 8.3. Vodní součinitel

Další zkoumaný faktor výrazně ovlivňující chování čerstvé směsi a také zatvrdlé cementové matrice je vodní součinitel. Vliv vodního součinitele na beton je popsán v teoretické části této práce. V předchozí kapitole bylo zjištěno, že nejslabším článkem navržené směsi je zatvrdlá cementová matrice. Toto by měl vhodný součinitel změnit. První zkušební směs je uvedena v tabulce 8.3.1 a vychází z předchozí kapitoly. V grafu 8.3.1 je znázorněný vztah zpracovatelnosti směsi na vodním součiniteli. Minimální hodnota rozlití byla stanovena na 200 mm. Tekutost této směsi tedy byla nedostatečná a byla upravena dávka plastifikátoru na hodnotu 2,5 % z hmotnosti cementu. Receptura je uvedena v tabulce 8.3.2.

Vodní součinitel byl vypočítán ze vztahu  $w = \frac{v}{c}$  (10). Ve vzorci je zohledněná voda obsažena v plastifikátoru a odečtena od záměsové vody. Při míchání betonu bylo použito suché kamenivo, ale jelikož se během této práce používalo stále stejné kamenivo vysušené v sušárně, nebyl brán ohled na nasycení kameniva vodou. Skutečný vodní součinitel byl tudíž ještě nižší, než jaký byl vypočítán a uveden v receptuře.

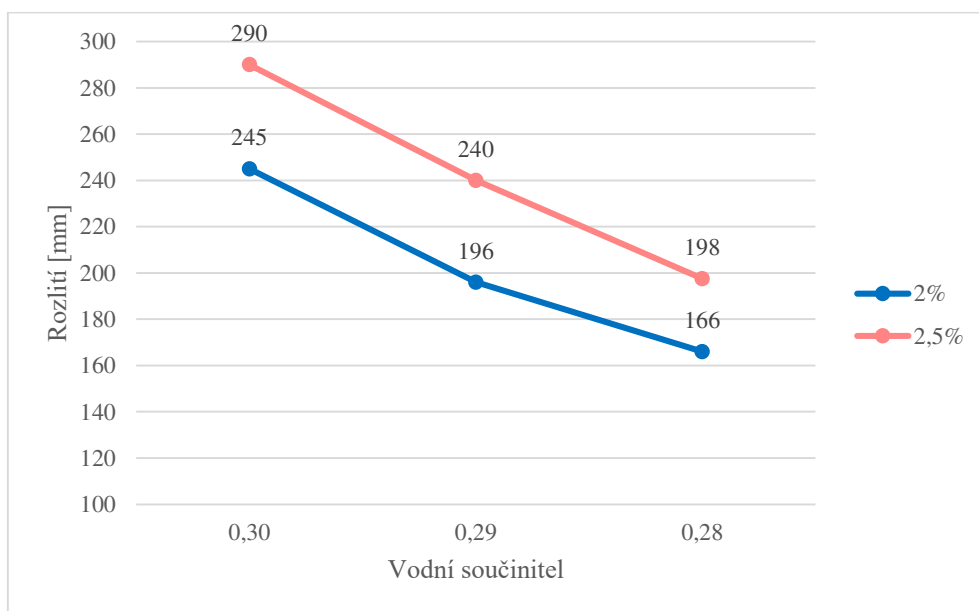
*Tabulka 8.3.1 - Receptura betonu s dávkou plastifikátoru 2 %*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1A	2A	3A
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000
Voda [l]	185,9	179,4	172,9
ViscoCrete 2700 [l]	13	13	13
Rozlití [mm]	245	196	166
W/C	0,30	0,29	0,28

Tabulka 8.3.1 - Receptura betonu s dávkou plastifikátoru 2,5 %

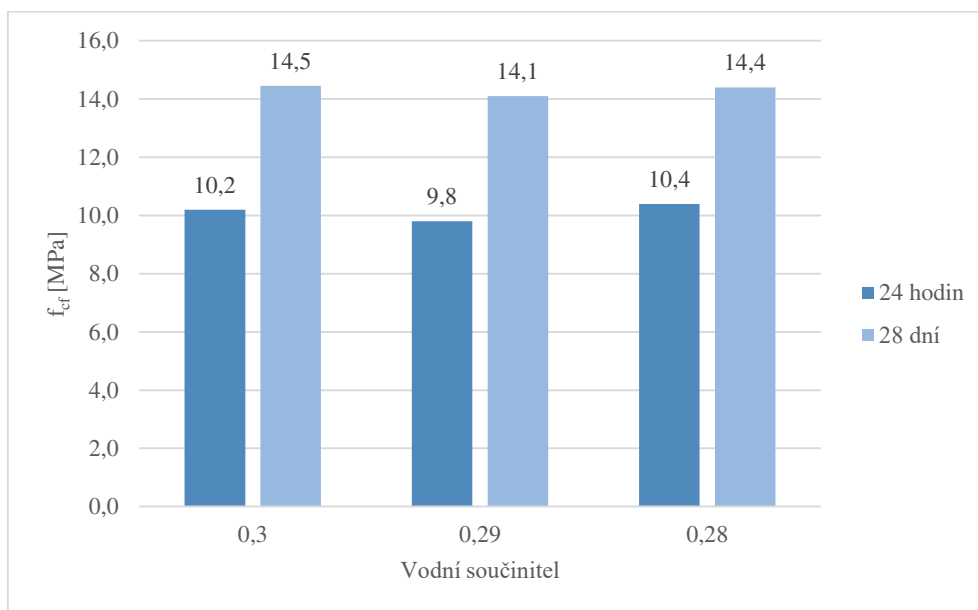
Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000
Voda [l]	183,63	177,13	170,63
ViscoCrete 2700 [l]	16,25	16,25	16,25
Rozlití [mm]	290	240	198
W/C	0,30	0,29	0,28

Graf 8.3.1 - Křivka zpracovatelnosti v závislosti na vodním součiniteli

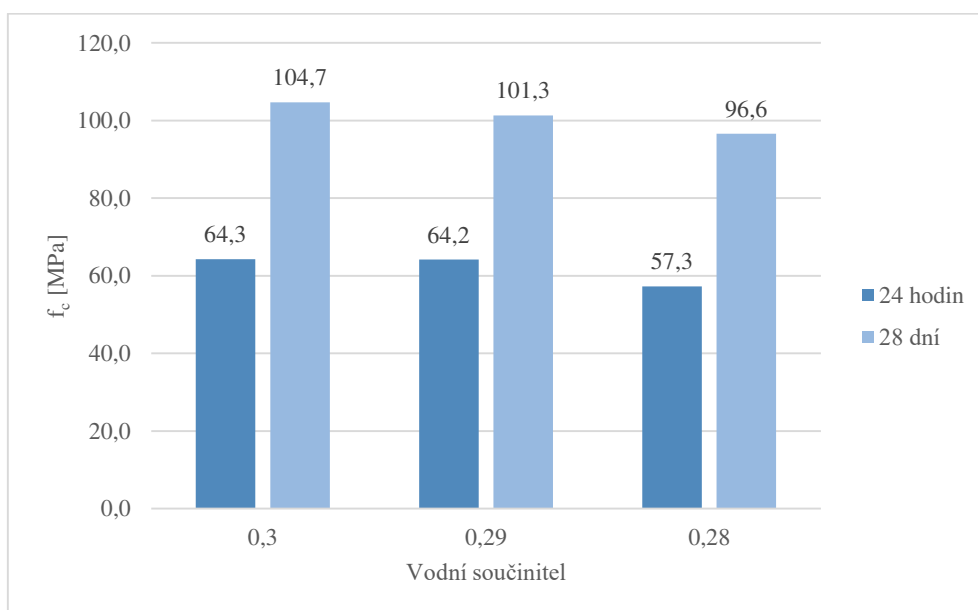


Naměřené hodnoty pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku, při obsahu plastifikátoru 2 % jsou znázorněny v grafech 8.3.2 a 8.3.3 Pevnosti v tahu za ohybu, ale také pevnosti v tlaku se při změně vodního součinitele příliš od sebe neliší.

*Graf 8.3.2 - Pevnost v tahu za ohybu s různým vodním součinitelem; 2 % plastifikátoru*



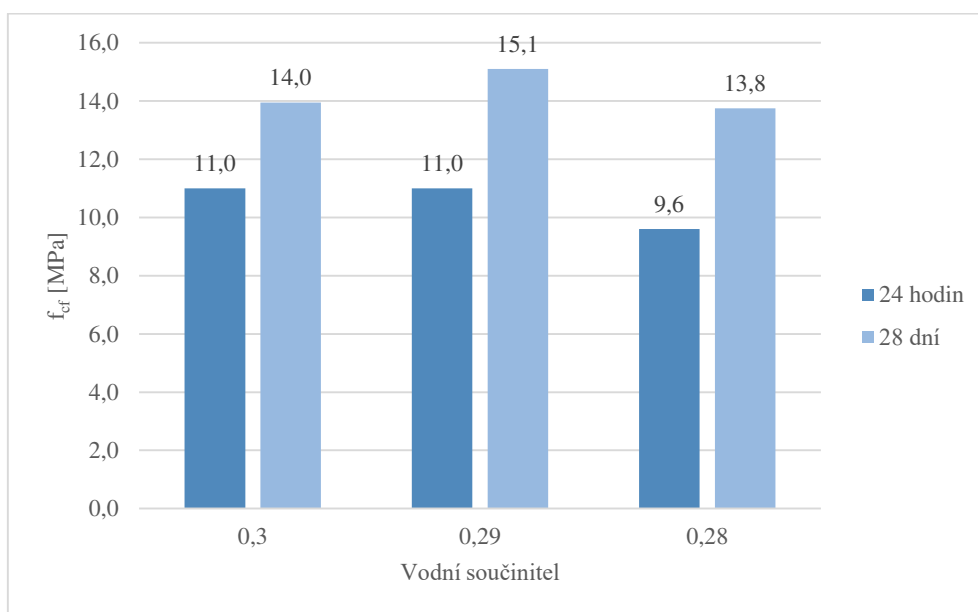
*Graf 8.3.3 - Pevnost v tlaku s různým vodním součinitelem; 2 % plastifikátoru*



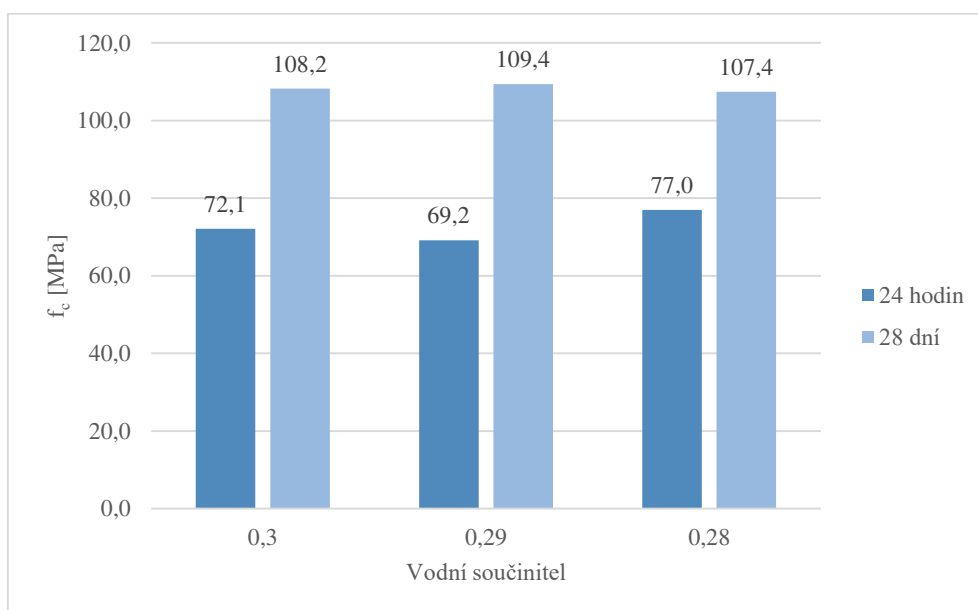
Pevnosti betonu při dávce plastifikátoru 2,5 % jsou znázorněny na grafech 8.3.4 a 8.3.5. Na první pohled lze vidět příznivý účinek vyšší dávky plastifikátoru na jednodenní pevnosti oproti dávce plastifikátoru 2 %. Samotné hodnoty pro různý vodní součinitel se od sebe příliš neliší.



*Graf 8.3.4 - Pevnost v tahu za ohybu s různým vodním součinitelem; 2,5 % plastifikátoru*



*Graf 8.3.5 - Pevnost v tlaku s různým vodním součinitelem; 2,5 % plastifikátoru*



Jako nejvýhodnější směs se jeví vodní součinitel 0,29 při dávce plastifikátoru 2,5 %. K porušení vzorků, ale stále docházelo v cementové matici. Proto byl vodní součinitel v další kapitole opět snížen a dávka plastifikátoru navýšena tak, aby zůstala zachována tekutost čerstvé směsi.

## 8.4. Příměsi

Další etapou této práce bylo ověřit vliv příměsí na beton. Význam a vliv příměsí na reologické vlastnosti a pevnosti cementové matrice je podrobněji popsán v teoretické části. V této kapitole byl zkoumán vliv mikrosiliky a metakaolínu. První receptura navazuje na předchozí kapitolu a je uvedena v tabulce 8.4.1. Vliv příměsí byl zkoumán z pohledu binární soustavy pojiv, to znamená, že směs byla tvořena cementem a jednou příměsí. Receptura byla zkoumána také z pohledu ternární soustavy, kterou tvořil cement a dvě příměsi v různých poměrech.

Bylo vytvořeno celkem šest směsí. Jedna kontrolní směs bez jakékoliv příměsí. Potom dvě binární soustavy s 10 % mikrosiliky, nebo metakaolínu. Poslední tři soustavy byly ternární. Celkový podíl příměsí byl 10 % hmotnosti cementu v různých poměrech a to 50 % mikrosiliky a 50 % metakaolínu. Další poměr byl 75 % mikrosiliky, 25 % metakaolínu. Poslední směs byla 75 % metakaolínu a 25 % mikrosiliky. Hmotnost těchto příměsí byla následně odečtena od hmotnosti cementu.

Vodní součinitel byl počítán ze vztahu  $w = \frac{v}{c+k*x}$  (11). Na vysušené kamenivo, bez ohledu na nasycení kameniva vodou. Od záměsové vody byla odečtena voda obsažená v plastifikátoru. Hodnota  $k$  byla zvolena 2.

Tabulka 8.4.1 - Receptura směsi s vodním součinitelem 0,29 a dávkou plastifikátoru 2,5 %

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6
Cement 52,5 R [kg]	650	585	585	585	585	585
Mikrosilika [kg]	-	65	-	32,5	45,75	16,25
Metaver [kg]	-	-	65	32,5	16,25	48,75
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Voda [l]	177,1	195,8	195,8	195,8	195,8	195,8
ViscoCrete 2700 [l]	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Rozlití [mm]	300	287	300	297	300	297

V minulém experimentu bylo zjištěno, že vodní součinitel 0,29 není dostatečně nízký a cementová matrice stále není dostatečně kompaktní. Po konzultaci s vedoucím práce a přihlédnutím k jeho zkušenostem z praxe, byl u dalších směsí vodní součinitel snížen na 0,22 a dávka plastifikátoru zvýšena na 4 % hmotnosti cementu. Receptura je uvedena v tabulce 8.4.2. Rozdíl oproti receptuře uvedené v tabulce 8.4.1 je v neodečítání hmotnosti příměsí od cementu.

*Tabulka 8.4.2 - Receptura směsi s vodním součinitelem 0,22 a dávkou plastifikátoru 4 %*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650	650	650
Mikrosilika [kg]	-	90	-	45	67,5	22,5
Metaver [kg]	-	-	90	45	22,5	67,5
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Voda [l]	135	170	170	170	170	170
ViscoCrete 2700 [l]	26	26	26	26	26	26
Rozlití [mm]	270	255	275	270	237	216

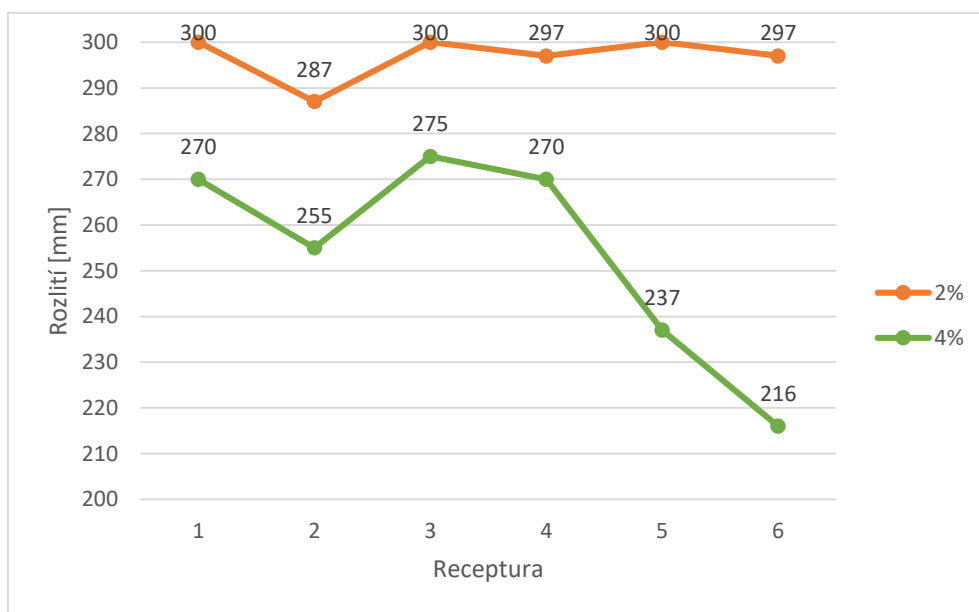
Tato receptura byla hraniční v hodnotě vodního součinitele. Vodní součinitel byl ve skutečnosti nižší než 0,22, protože nebylo počítáno s nasákavostí kameniva. Dávka vody již nešla snížit, z důvodu dodržení minimální hodnoty rozlití. Při menší dávce vody bylo rozlití menší než 200 mm. Dávka plastifikátoru nešla navýšit z důvodu odměšování jemných částic, které můžeme vidět na obrázku 8.4.1.

Obrázek 8.4.1 a 8.4.2 - Odmísené částice v průřezu trámečku



Hodnoty rozlité jednotlivých směsí jsou znázorněny v grafu 8.3.6. Nejlepší rozlité vykazuje směs s metakaolínem, naopak mikrosilika zpracovatelnost zhoršuje.

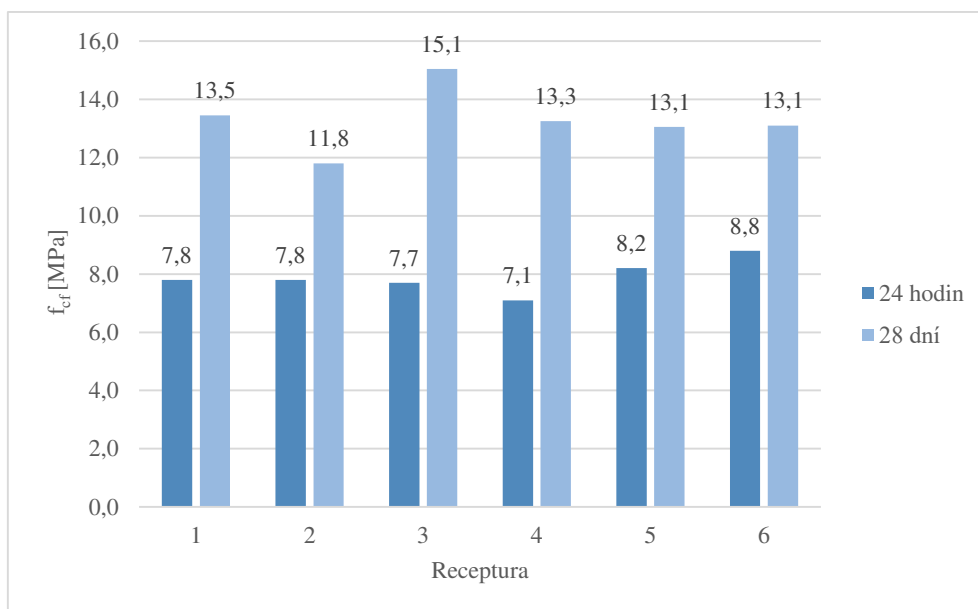
Graf 8.4.1 - Porovnání zpracovatelnosti směsí



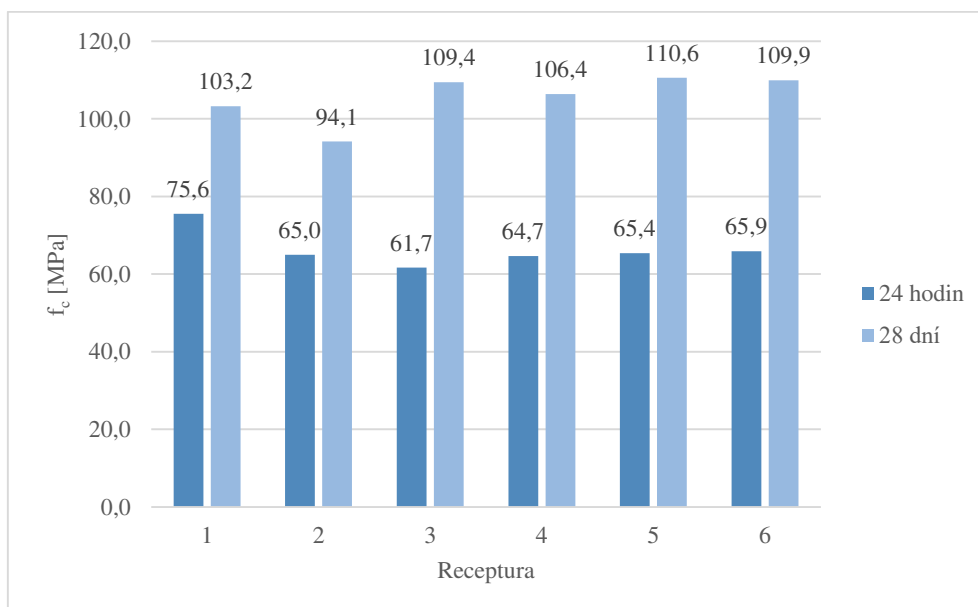
V následujících grafech 8.4.2 a 8.4.3 jsou naměřené hodnoty pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku směsí s vodním součinitelem 0,29. Nejmenší pevnosti vycházely u směsí s 10 %

mikrosiliky. Nejlepší výsledky měla směs s 10 % metakaolínu. Směsi na základě ternární soustavy měly výsledky podobné a nebyly v nich velké rozdíly.

*Graf 8.4.2 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,29*

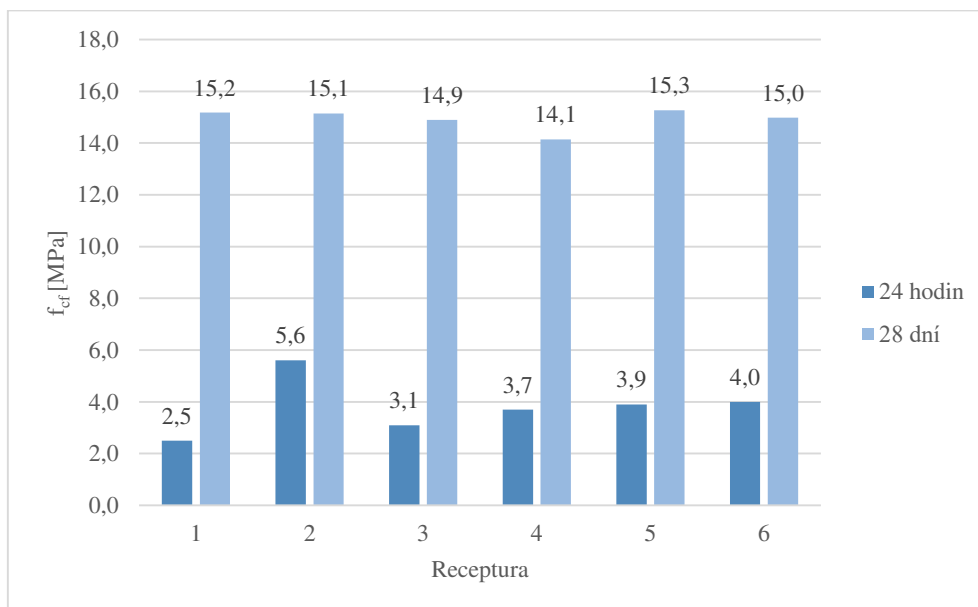


*Graf 8.4.3 - Pevnost v tlaku, vodní součinitel 0,29*

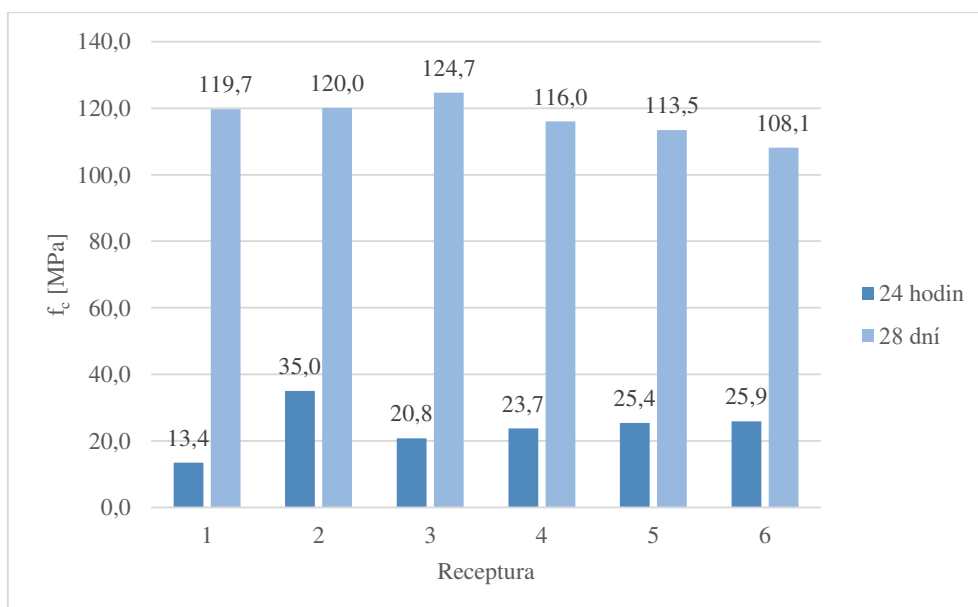


Grafy 8.4.4 a 8.4.5 jsou hodnoty pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku směsi s vodním součinitelem 0,22. Nejmenší pevnosti po 24 hodinách vykazovala směs bez příměsí. Nejlepší pevnosti po 24 hodinách vykazovala binární směs s mikrosilikou. Po 28 dnech byly pevnosti téměř shodné, ale ukázalo se, že pevnosti ternárních soustav jsou nejmenší.

*Graf 8.4.4 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,22*



*Graf 8.4.5 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,22*



Největším rozdílem směsí s různým vodním součinitelem jsou pevnosti po 24 hodinách. I když plastifikátor zvyšuje počáteční pevnosti a směs s vodním součinitelem 0,22 obsahuje více plastifikátoru, tak u směsí s nízkou dávkou vody a vysokým podílem pojiv probíhá hydratace pomaleji. Výsledkem jsou nízké počáteční pevnosti. Naopak pevnosti po 28 dnech jsou vyšší, jak bylo předpokládáno, u směsí s nižším vodním součinitelem. Zajímavé by bylo porovnání dlouhodobých pevností, kde by pevnosti s nízkým vodním součinitelem a vysokým obsahem příměsí mohly být daleko vyšší. Díky povaze této práce nebylo možno toto otestovat.

## 8.5. Návrh vyztužené směsi

Dalším faktorem ovlivňujícím hlavně pevnosti betonu v zatvrdlém stavu je rozptýlená výztuž. Byly zkoumány vlivy drobných ocelových drátků a syntetických vláken. Největší přínos rozptýlené výztuže je hlavně ve zlepšení mechanických vlastností, jako je například tažnost, pevnost za ohybu, zmenšení počátečních trhlin a vylepšení zbytkové pevnosti betonu.

Pro porovnání vlastností vláken bylo vytvořeno několik skupin směsí. První skupinou byly kontrolní směsi, druhou skupinou byly receptury obohaceny o vlákna a třetí receptury obohaceny o drátky. Kontrolní skupina neobsahuje žádná vlákna a drátky. Tyto záměsi jsou uvedeny v tabulce 8.5.1. Receptura vychází z předchozí kapitoly. V každé skupině byla jedna směs s mikrosilikou a jedna směs s metakaolínem.

*Tabulka 8.5.1 - Receptury kontrolních směsí*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2
Cement 52,5 R [kg]	650	650
Mikrosilika [kg]	90	-
Metaver [kg]	-	90
Písek 0-2 [kg]	1000	1000
Voda [l]	169	169
ViscoCrete 2700 [l]	26	26
Rozlití [mm]	234	257

Další skupinou směsí byly receptury obohacené o vlákna uvedené v tabulce 8.5.2. S každou příměsí byly vytvořeny dvě záměsi. Jedna s vyšším obsahem vláken a jedna s nižším obsahem vláken. Podle technického listu použitých vláken se doporučuje dávkování od 1 kg/m<sup>3</sup> do 8 kg/m<sup>3</sup>. Pro tuto práci bylo použito dávkování 1 kg/m<sup>3</sup> a 2 kg/m<sup>3</sup>. Tato dávka byla zcela nedostatečná a v průřezu zkušebních vzorků bylo málo vláken, jak můžeme vidět na obrázku 8.5.1. Někdy paradoxně bylo více vláken ve směsi, která měla být vyztužená méně. Díky této chybě mohou být zkresleny výsledky pevností těchto směsí.

*Tabulka 8.5.2 - Receptury obohacené o vlákna*

vláknobeton				
Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650
Mikrosilika [kg]	90	90	-	-
Metaver [kg]	-	-	90	90
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000	1000
Voda [l]	169	169	169	169
ViscoCrete 2700 [l]	26	26	26	26
Vlákna [kg]	1	2	1	2
Rozlití [mm]	225	230	260	242



*Obrázek 8.5.1 - Průřez zkušebního vzorku vyztuženého vlákny*



Poslední skupinou směsí byly receptury s přidáním ocelových drátů uvedené v tabulce 8.5.3. Obdobně jako u přechodných receptur byly vytvořeny vždy dvě směsi s každou příměsí. Směs s menším obsahem drátů a to 20 kg/m<sup>3</sup> a směs s vyšším obsahem drátů a to 40 kg/m<sup>3</sup>. Průřez vyztužení je na obrázku 8.5.2.

*Tabulka 8.5.3 - Receptury obohacené o dráty*

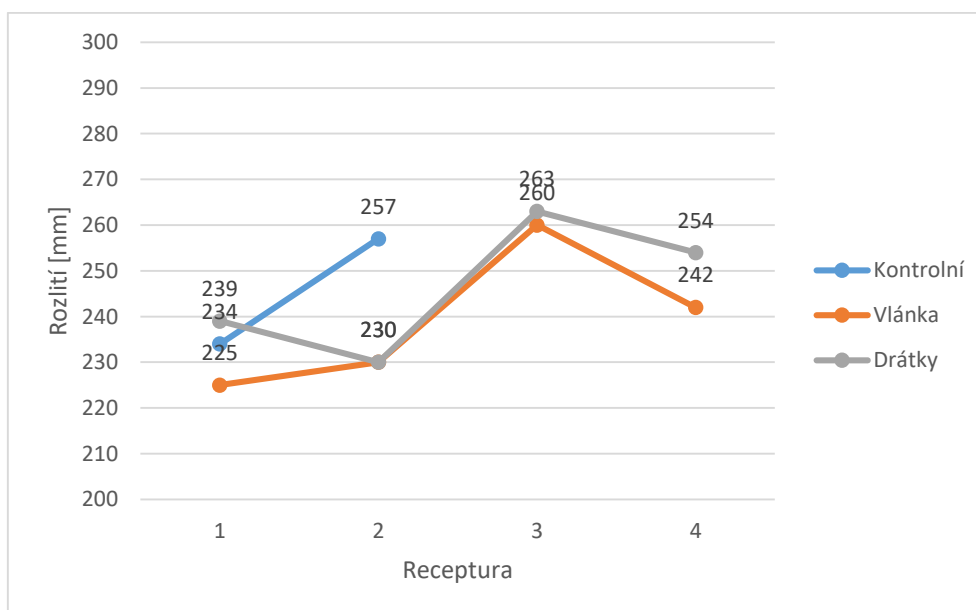
Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650
Mikrosilika [kg]	90	90	-	-
Metaver [kg]	-	-	90	90
Písek 0-2 [kg]	1000	1000	1000	1000
Voda [l]	169	169	169	169
ViscoCrete 2700 [l]	26	26	26	26
Dráty [kg]	20	40	20	40
Rozlité [mm]	239	230	263	254

Obrázek 8.5.2 - Průřez zkušebního vzorku vyztuženého drátky



Hodnoty rozlití nalezneme v grafu 8.5.1. Z grafu lze vyčíst, že vyztužené směsi se v hodnotách rozlití příliš neliší od kontrolní směsi. Podle předpokladu je rozdíl ve stupni vyztužení. Směsi s menší dávkou drátků, nebo vláken měly větší rozlití, než směsi s vyšší dávkou drátků, nebo vláken.

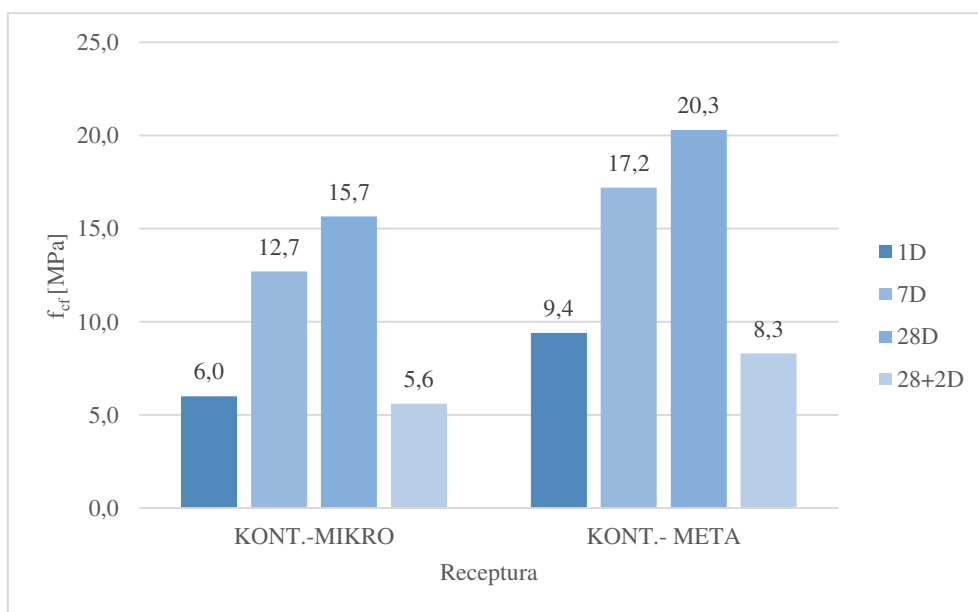
Graf 8.5.1 - Rozlití směsí



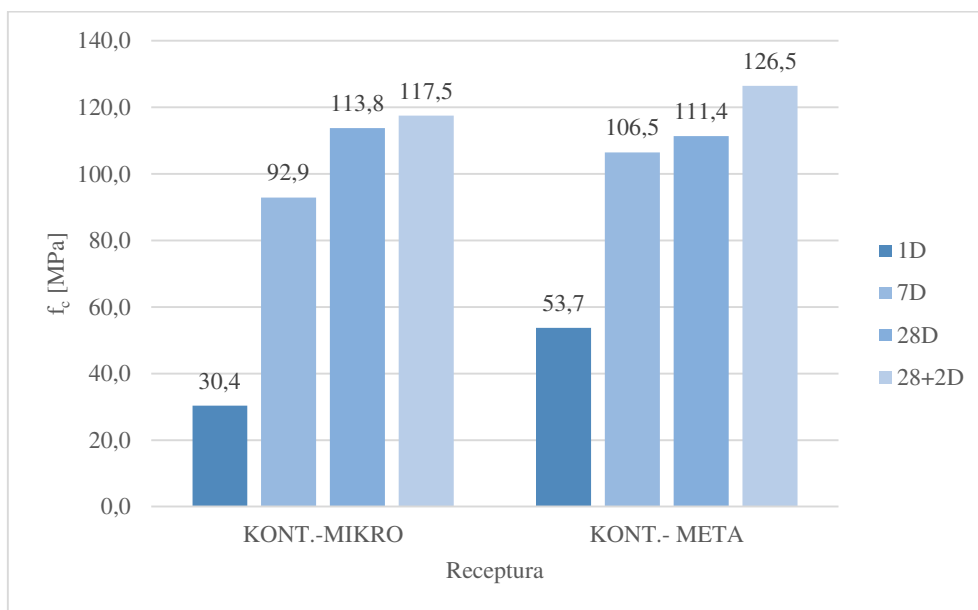
Pro sledování vlivů rozptýlené výztuže na beton byl zvýšen počet zkušebních vzorků, aby bylo možno sledovat vývoj pevností a vliv rozptýlené výztuže po ukončení ošetřování a vzniku mikro trhlinek v zatvrdlé cementové pastě. Vzorky byly zkoušeny po 24 hodinách, po 7 dnech, po 28 dnech a po 30 dnech. Všechny vzorky přestaly být ošetřovány po 28 dnech a další dva dny ponechány na suchu. V té době se začaly tvořit mikrotrhliny a bylo očekáváno, že se projeví účinek rozptýlené výztuže.

V grafech 8.5.2 a 8.5.3 jsou naměřené pevnosti na kontrolní směsi bez vyztužení. Směsi s metakaolínem, stejně jako v předchozí kapitole, vychází lepší pevnost hlavně v ohybu. Pevnost v tahu za ohybu stoupala během ošetřování vodou. Po dvou dnech na suchu se pevnost v tahu za ohybu zmenšila téměř na třetinu hodnoty pevnosti dosažené po 28 dnech a pevnosti byly dokonce menší než po 24 hodinách. Pokles je způsoben vysycháním vzorků a rozvojem mikrotrhlin. Pevnost v tlaku stoupala po celou dobu ošetřování vodou, ale po vyschnutí byla pevnost v tlaku ještě vyšší, než po 28 dnech. Vzniklé mikrotrhliny nemají na pevnost v tlaku takový vliv. Pozitivní vliv má právě vysychání, kdy se vypaří voda z dutin betonu a při tlakovém zatěžování nepůsobí na stěny dutin.

*Graf 8.5.2 - Pevnost v tahu za ohybu kontrolní směsi*

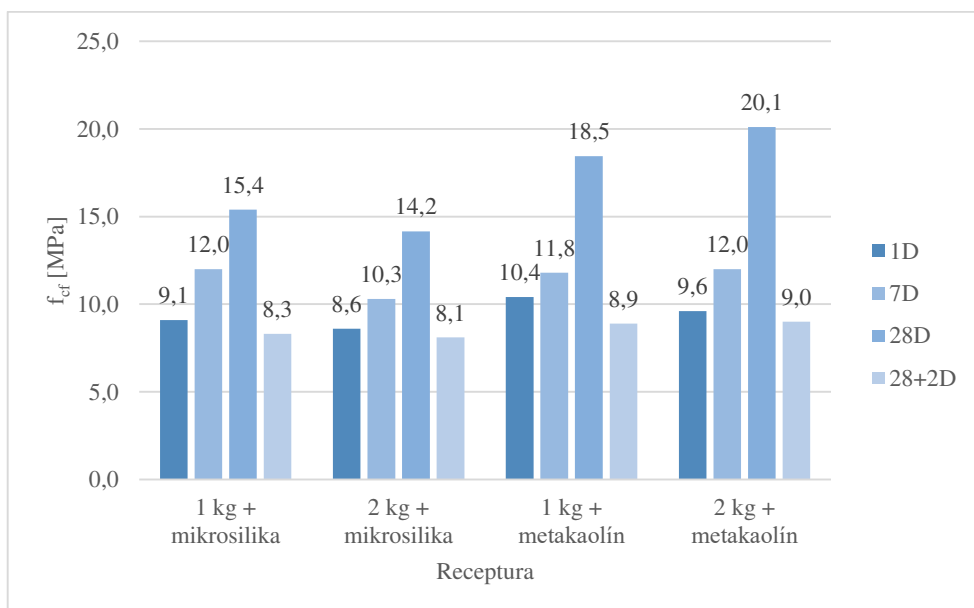


*Graf 8.5.3 - Pevnosti v tlaku kontrolní směsi*



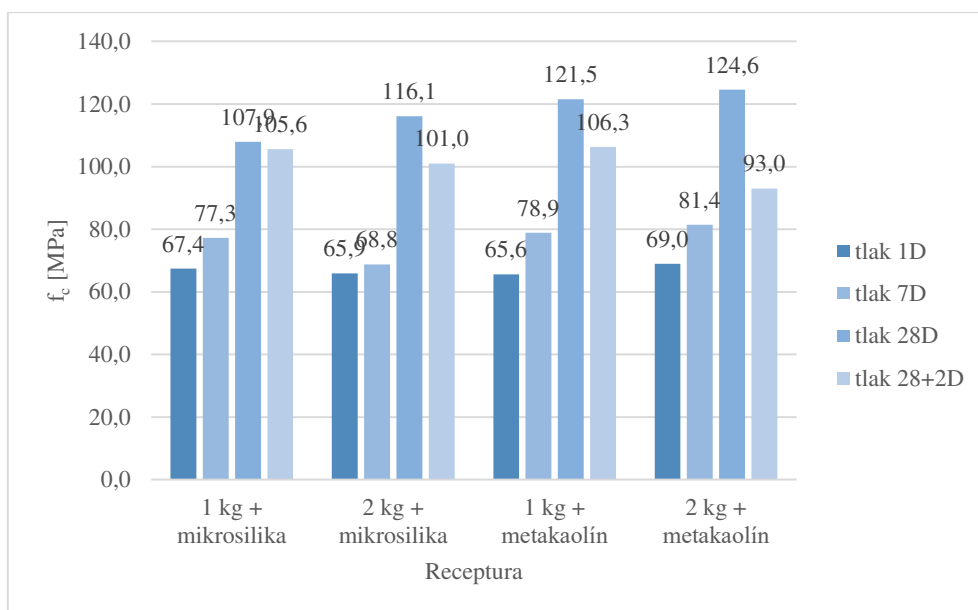
Vyztužení průřezu zkušebních vzorků bylo nedostatečné, tak jak bylo popsáno dříve v této práci. To může zpochybnit vliv vláken na zatvrdlou cementovou matrici. Pevnosti v tahu za ohybu uvedené v grafu 8.5.4 se neliší od pevností kontrolních směsí při standartním ošetřování. Vysušené vzorky zkoušené po 30 dnech vykazovaly větší pevnosti, než kontrolní směsi. Jistý vliv vláken tedy lze zaznamenat.

*Graf 8.5.4 - Pevnost v tahu za ohybu směsi obohacenou vlákny*



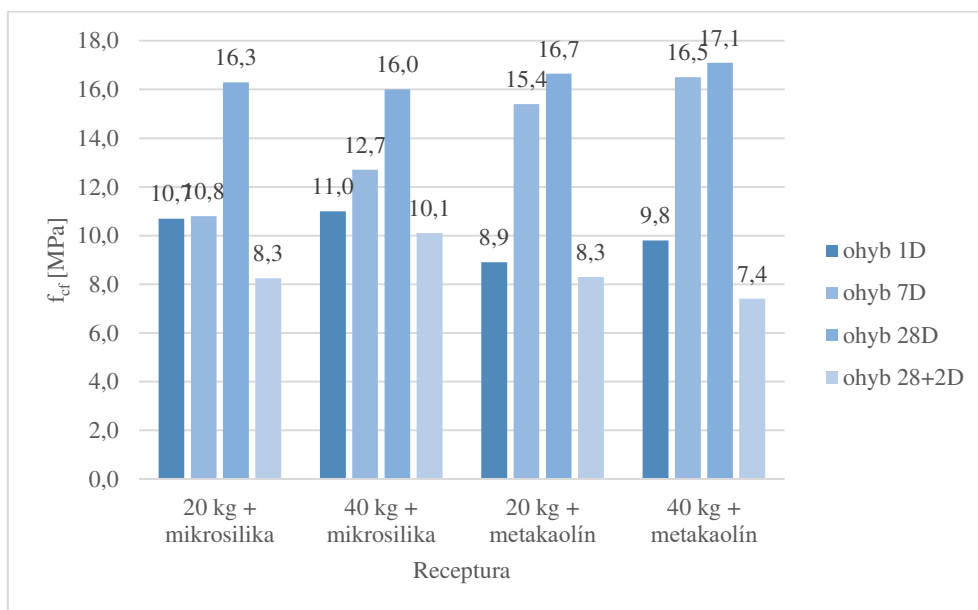
Při zkoumání pevnosti v tlaku se vlákna také příliš neprojevila a pevnosti po 28 dnech se příliš neliší od kontrolní směsi. Velkým rozdílem je pomalejší náběh pevností a dokonce snížení pevnosti na vyschlých vzorcích.

*Graf 8.5.5 - Pevnost v tlaku směsi obohacenou vlákny*



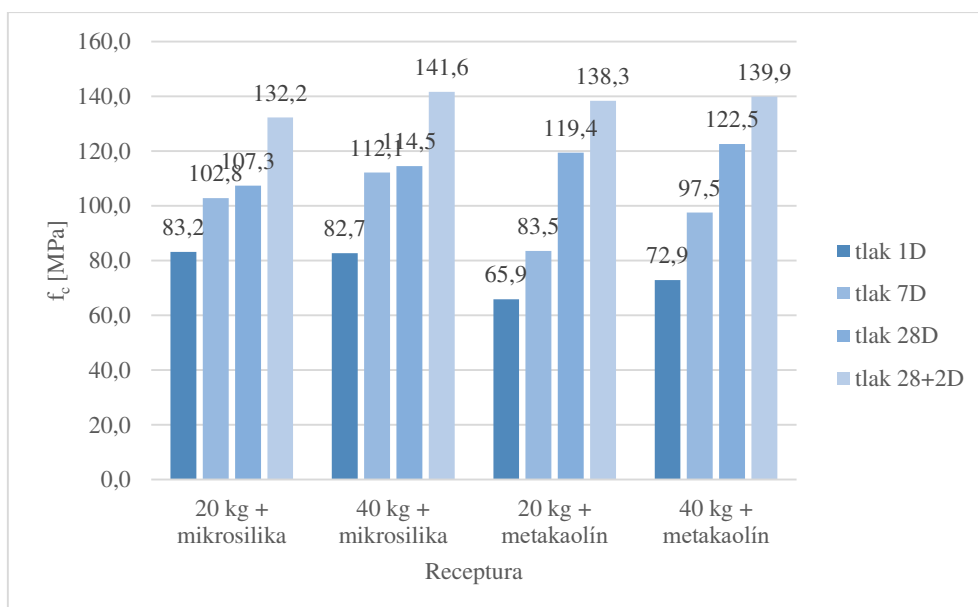
Vliv drátků na pevnost v tahu za ohybu uvedených v tabulce 8.5.6 je znatelný spíše u směsí s vyšší dávkou drátků hlavně u směsí s mikrosilikou. Největší přínos drátků spočíval ve zvýšení pevnosti na vyschlých vzorcích. V případě směsí s metakaolínem byly očekávány pevnosti vyšší. Tento jev by bylo potřeba dále zkoumat.

*Graf 8.5.6 - Pevnost v tahu za ohybu směsi obohacenou drátky*



Největší vypořádaný přínos drátků na zkušební trámečky byl na pevnosti v tlaku uvedené v grafu 8.5.7. Vzorky měly nejvyšší pevnosti po 24 hodinách a také nejvyšší pevnosti na vysušených vzorcích.

*Graf 8.5.7 - Pevnost v tlaku směsi obohacenou drátky*



*Obrázek 8.5.3 a 8.5.4 - Porušený vzorek s vlákny (vlevo) a drátky (vpravo)*



## **8.6 Výztuž rohoží – textilní beton**

Běžná betonářská výztuž spolu s betonem tvoří jeden z nejpoužívanějších stavebních materiálů. V poslední době převládá ve stavebnictví trend velmi subtilních betonových konstrukcí z UHPC. Klasická betonářská ocel není dostatečně odolná proti vlivům vnějšího prostředí a potřebuje dostatečnou krycí vrstvu. Ta díky pasivaci chrání ocelovou výztuž proti korozi. To je důvod vývoje textilních výztuží ve formě rohoží. Tato výztuž nepodléhá korozi a nepotřebuje tedy tak silnou krycí vrstvu betonu. To umožňuje velkou redukci tloušťky a mohou vznikat velmi tenké a únosné konstrukční prvky z TRC. Pro tyto prvky se používají jen velmi tekuté a jemnozrné směsi. Z ekologického hlediska je to také velmi výhodné, díky velkému snížení spotřeby materiálu. [23]

Pro zkoušení byla použita receptura uvedená v tabulce 8.6.1. Během předchozích experimentů bylo zjištěno, že nejlepší ohybovou pevnost má směs s vysokým podílem metakaolínu. Pro zkoušení pevnosti v tahu ohybem byly vytvořeny desky o rozměrech 18x100x360 mm. Celkem byly použity 2 skupiny vzorků. Obě skupiny měly stejnou recepturu, rozdíl byl v použitých textilních výztužích. Jedna sada vzorků měla 2D rohože a druhá sada 3D rohože. Zkušební vzorky byly po 28 dnech ošetřování zkoušeny na čtyřbodový ohyb.

*Tabulka 8.6.1 - Receptura směsi*

Receptura na 1m <sup>3</sup>	
Cement 52,5 R [kg]	650
Metaver [kg]	90
Písek 0-2 [kg]	1000
Voda [l]	170
ViscoCrete 2700 [l]	26
Rozlití [mm]	275

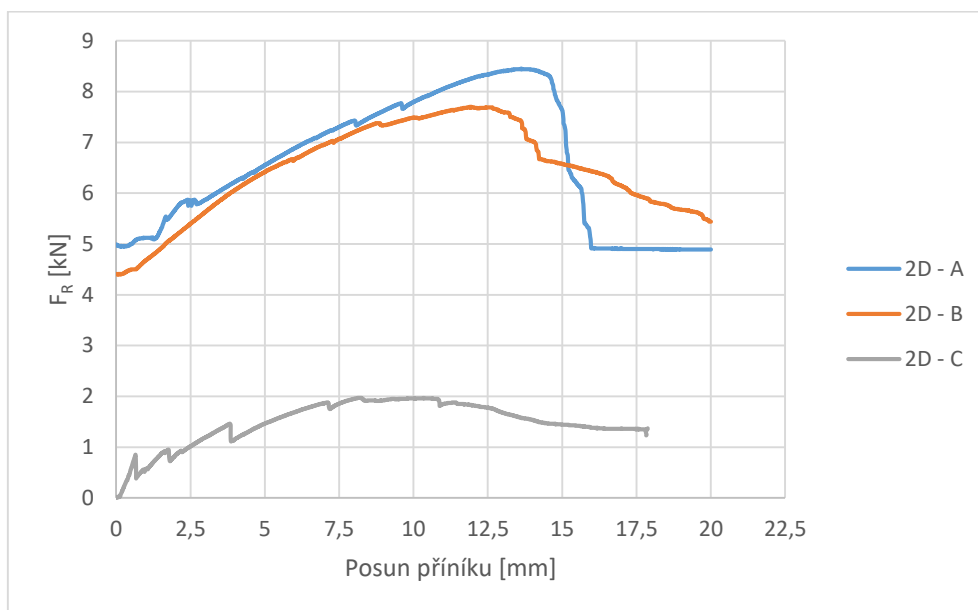
Při zkoušení pevnosti v tahu ohybem bohužel nebyl zaznamenán průhyb zkušebních vzorků. Maximální hodnota použitých měřících hodinek je 12mm. To bylo pro tyto vzorky bohužel nedostatečné. Proto jsou v grafech 8.6.1 a 8.6.2 zaznamenány hodnoty posunu příčnicku zkušebního lisu. Při zkoušení pevnosti se pod podporami vždy začaly tvořit první trhliny a vytvořily se dva plastické klouby. Poté již vzorky začaly ztrácet svou pevnost.

Ze sady zkušebních vzorků vyztužených 2D rohoží musel být bohužel vyloučen vzorek C. Při odbedňování se odloupala spodní krycí vrstva a betonová směs neměla dostatečnou soudržnost s výztuží. Vzorek je v grafu ponechán pro srovnání, důležitosti soudržnosti výztuže a cementové pasty.

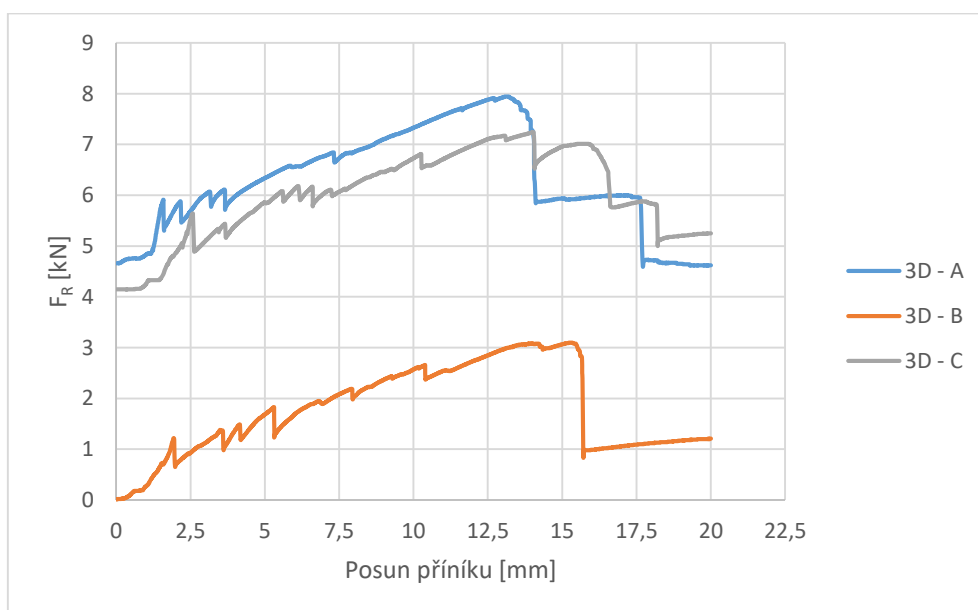
V případě vzorků vyztužených 3D rohoží musel být vyloučen vzorek B. Před měřením byl nalezen v kádi s ošetrovací vodou s viditelnými trhlinami. Nejspíše byl mechanicky poškozen a to vedlo k nedostatečné únosnosti.



Graf 8.6.1 – Průběh zatížení TRC desek s 2D rohoží ze zkoušky čtyřbodovým ohybem

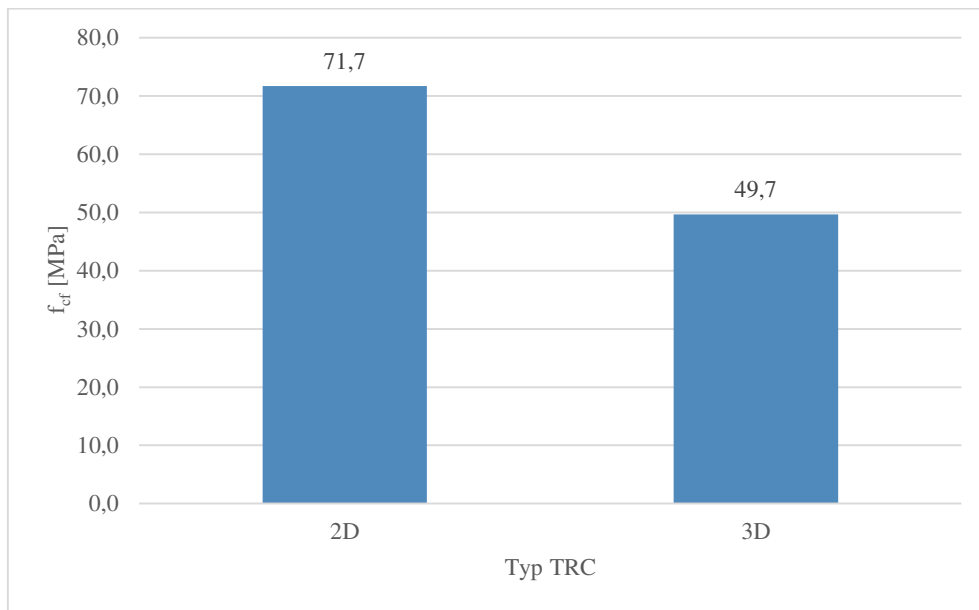


Graf 8.6.2 - Průběh zatížení TRC desek s 3D rohoží ze zkoušky čtyřbodovým ohybem

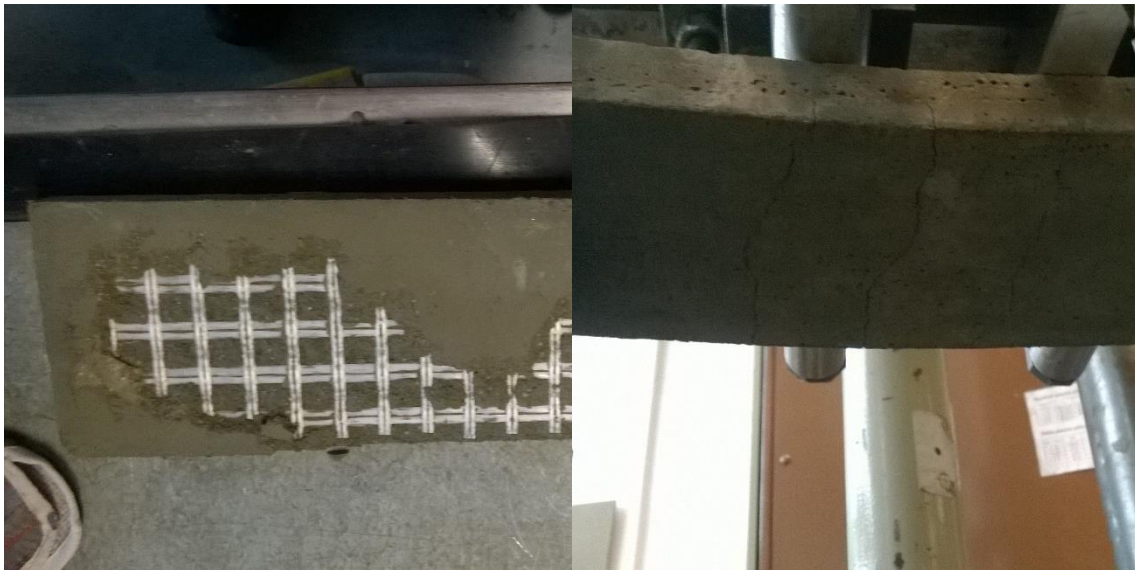


Z výsledků plyne, že 3D rohož a 2D rohož měly podobný průběh zatížení. Vzorek s 2D výztuží byl porušen při maximální síle 8,45 kN s průhybem 12,76mm. Vzorek vyztužený 3D rohoží byl porušen při maximální síle 7,94 kN s průhybem 13,7 mm. Rozdílné výsledky vykazuje výpočet pevnosti v tahu ohybem. Zatímco Vzorkům s 2D rohoží vychází ohybová pevnost 71,7 MPa, tak vzorkům s 3D rohoží 49,7 Mpa.

*Graf 8.6.3 - Pevnost v tahu za ohybu*



*Obrázek 8.6.1 a 8.6.2 – Odloupnutá krycí vrstva a vznik prvních markotrhlin*



*Obrázek 8.6.3 - Zatěžování vzorku*



*Obrázek 8.6.4 - Porušený zkušební vzorek*



## **8.7 Návrh vylehčené směsi**

Návrh lehké betonové směsi probíhal experimentálně. Cílem návrhu bylo vytvořit směs dostatečné pevnosti, tuhé konzistence s nízkou objemovou hmotností pod  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Směs byla kombinací pojiv a lehkého kameniva s různým poměrem. Plnivo bylo zvoleno s ohledem na dostatečnou pevnost a nízkou objemovou hmotnost. Bylo použito lehčeného prachového liaporu frakce 0-1mm o sypané hmotnosti  $650 \text{ kg/m}^3$ , liaveru frakce 1-2 mm o hustotě  $350 \text{ kg/m}^3$

a křemičitého písku frakce 0-2mm o sypné hmotnosti 1566 kg/m<sup>3</sup>. Jako vhodná příměs byla zvolena mikrosilika. Výhodou použití mikrosiliky bylo zlepšení zpracovatelnosti a přilnavosti směsi, zvýšení pevností a snížení nasákavosti směsi. Do směsi byla také použita rozptýlená výztuž a to vlákna Kalcifil S z polypropylénové stříže. Receptury jednotlivých směsí jsou uvedeny v tabulce 8.7.1.

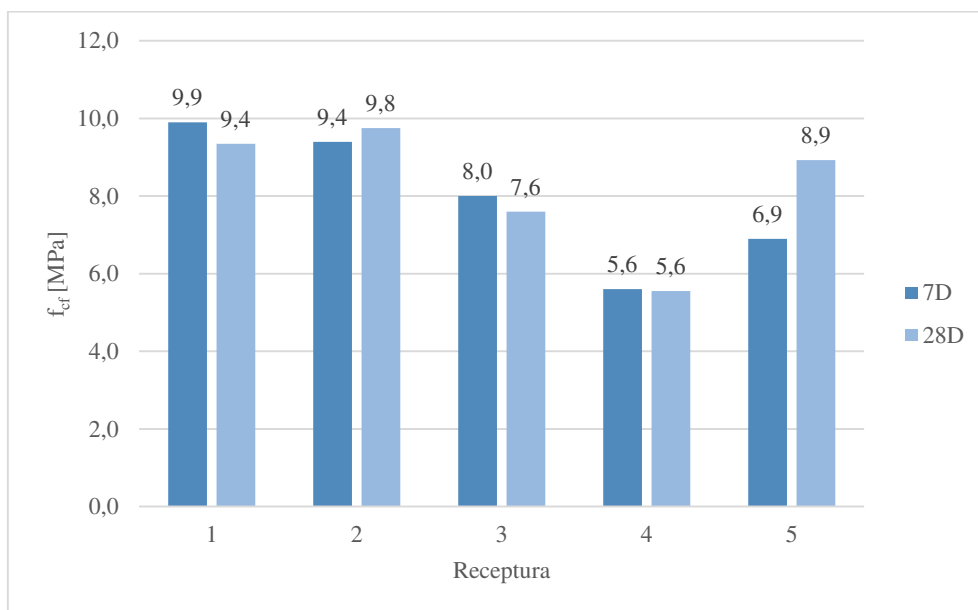
Z použitých materiálů bylo vyrobeno celkem pět směsí s různým poměrem kameniva. Byly vytvořeny zkušební trámečky, pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku byly zkoušeny po 7 dnech a po 28 dnech. Objemová hmotnost směsí se pohybovala mezi 1735 kg/m<sup>3</sup> a 1375 kg/m<sup>3</sup>.

*Tabulka 8.7.1 - Receptury lehčených směsí*

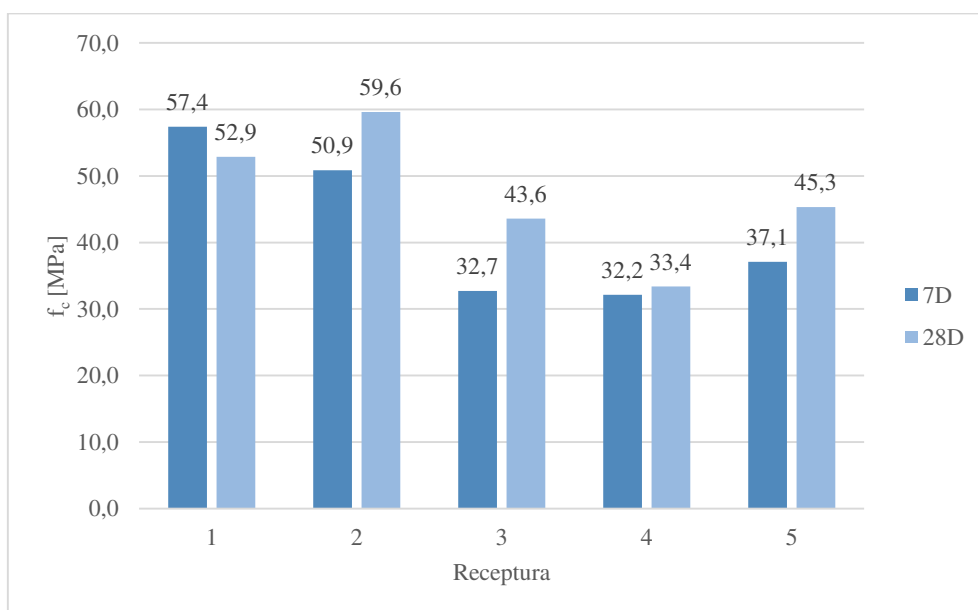
Receptura na 1m <sup>3</sup>	1	2	3	4	5
Cement 52,5 R [kg]	650	650	650	650	650
Mikrosilika [kg]	90	90	90	90	90
Písek 0-2 [kg]	400	300	250	-	500
Liapor 0-1 [kg]	250	300	300	500	400
Liaver 1-2 [kg]	90	70	125	125	200
Voda [l]	189	190	220	236	180
ViscoCrete 2700 [l]	26	26	26	26	26
Vlákna [kg]	1	2	1	2	1,5
Rozliti [mm]	111	115	118	109	105
Objemová hm. [kg/m <sup>3</sup> ]	1705	1725	1570	1375	1550

Z grafu 8.7.1, který znázorňuje pevnosti v tahu za ohybu po 7 dnech lze vidět, že pevnost, stejně jako objemová hmotnost, závisí zejména na kombinaci dávky písku a liaveru. Nejvyšší dosažená pevnost po 28 dnech byla 9,8 MPa a nejnižší 5,6 MPa.

*Tabulka 8.7.1 - Pevnost v tahu za ohybu vylehčených směsí*



*Tabulka 8.7.2 - Pevnost v tlaku vylehčených směsí*



Kombinace kameniva má stejný vliv také na pevnosti v tlaku. Nejvyšší dosažená pevnost byla 59,6 MPa a nejnižší 33,4 MPa.

Nejlepší směs pro praktickou ukázkou tenkostěnné konstrukce, s ohledem na vycházející pevnosti a objemovou hmotnost, se tedy jeví pátá směs. Jako ukázkou konstrukce byl vyroben

model kanoe v měřítku 1:4 s tloušťkou stěny maximálně 20 mm. Bednění lze provést v několika kategoriích. Pro tuto práci bylo použito vnitřní bednění. Nejdříve byla zhotoveny žebra bednění, jak vidíme na obrázku 8.7.1. Tyto žebra byla poté obalena modelářskou hlinou, která tvořila vnitřní povrch lodi. Hliněné bednění vidíme na obrázku 8.7.2. Toto bednění bylo poté opatřeno příloženými žebry, která zajišťovala výsledný tvar lodi. Tloušťka nanesené betonové vrstvy byla 20 mm. Na obrázku 8.7.3 vidíme průběh betonování modelu lodi. Betonová směs byla ošetřována 4 dny a poté byla odbedněna. Výsledný tvar modelu plující kanoe vidíme na obrázku 8.7.4.

*Obrázek 8.7.1 a 8.7.2 - Žebra pro bednění a bednění s přiloženými vodícími žebry*



*Obrázek 8.7.3 a 8.7.4 - Postup betonáže a kanoe ve vodě*



## 8.8 Finální vyztužená směs

Po provedení všech fází zkoušení byla zvolena finální receptura uvedená v tabulce 8.8.1. Tato receptura byla zvolena na základě nejlepších výsledků v tlaku a v tahu za ohybu. Tato směs je ovšem jiná v použitém kamenivu. Z této směsi byly vyhotoveny větší zkušební vzorky. Zároveň bylo namícháno větší množství. Z toho důvodu byl použitý křemičitý písek frakce 0- 4. Toto kamenivo bylo skladováno ve venkovním prostředí a bylo nasyceno vodou.

*Tabulka 8.8.1 - Receptura finální vyztužené záměsi*

Receptura na 1m <sup>3</sup>		20 l
Cement 52,5 R [kg]	650	13
Metaver [kg]	90	1,8
Písek 0-4 [kg]	1000	20
Voda [l]	151	3,33
ViscoCrete 2700 [l]	26	0,52
Drátky [kg]	40	0,8
Rozlití [mm]	570 - F5 tekutá	

Míchání směsi probíhalo podle postupu popsaného v kapitole 6.4. Výroba a ošetřování zkušebních těles. Po namíchání směsi následovala zkouška rozlitím. Hodnota rozlití byla 570 mm jak lze vidět na obrázku 8.8.2. Směs také splňovala podmínku aby nedošlo k segregaci kameniva, což je zobrazeno na obrázku 8.8.1. Takto by se směs zařadila jako F5 směs tekutá. Tato receptura tedy nevyhovuje požadavku na SSC, která stanovuje minimální hodnotu rozlití 600 mm. Zkušební tělesa byla po 24 hodinách odformována a uložena ve vodě.

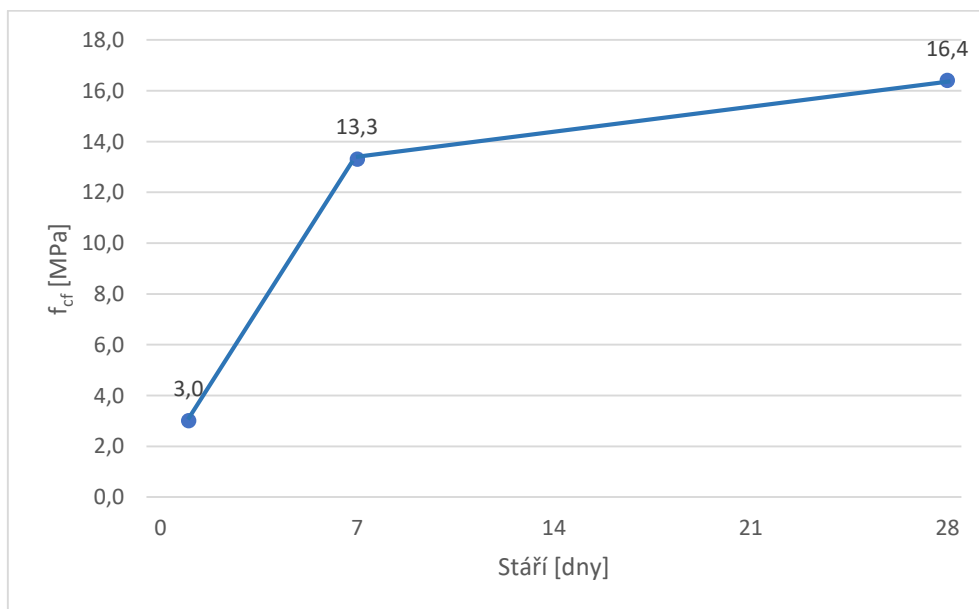


Obrázek 8.8.1 a 8.8.2 – Detail směsi bez segregace a zkouška rozlitím



### Pevnost v tahu za ohybu

Graf 8.8.1 - Vývoj pevnosti v tahu za ohybu na vzorcích 40x40x160 mm

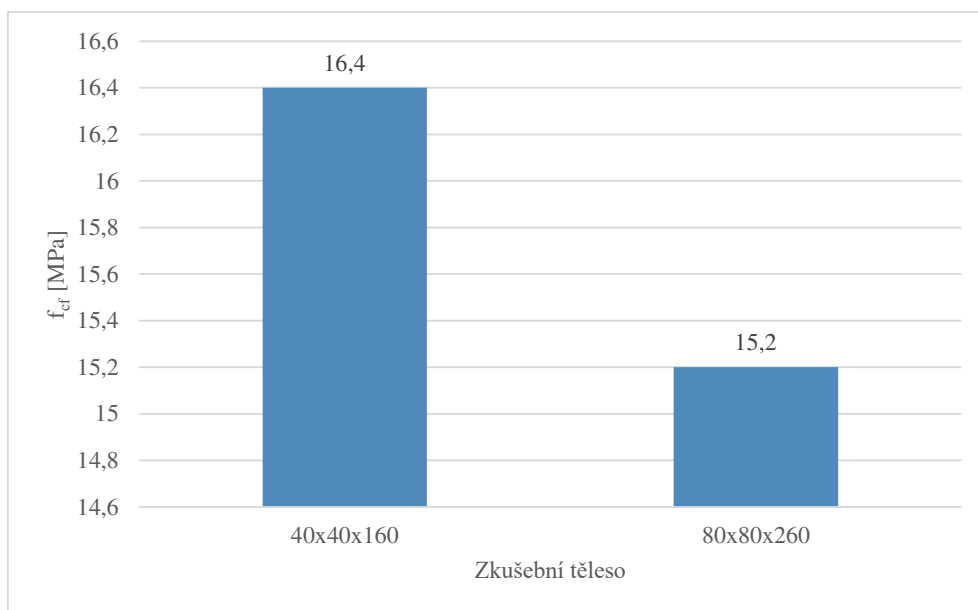


Pevnost v tahu za ohybu, znázorněna na grafu 8.8.1 bylo zkoušena na zkušebních trámečcích o rozměru 40x40x160 mm. Pevnosti po 24 hodinách byly nízké, jak se předpokládalo, kvůli vysokému obsahu příměsí a malému vodnímu součiniteli. Vodní



součinitel podle vzorce  $w = \frac{v}{c+k*x}$  (11) Je 0,20. Pevnost v tahu za ohybu naměřena na trámečcích byla 16,4 MPa. Tato hodnota byla porovnána s hodnotou pevnosti v tahu za ohybu v grafu 8.8.2. Vzorky pro pevnost v tahu za ohybu měly rozměr 80x80x260 mm. Výsledná hodnota na těchto zkušebních těles byla 15,2 MPa.

*Graf 8.8.2 - Porovnání pevností různých zkušebních těles*

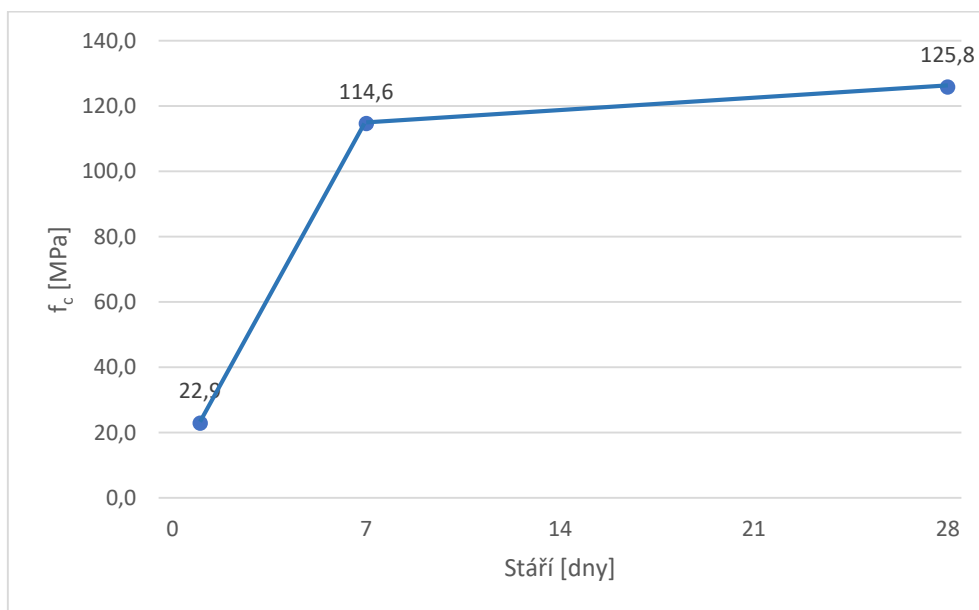


### **Pevnost v tlaku**

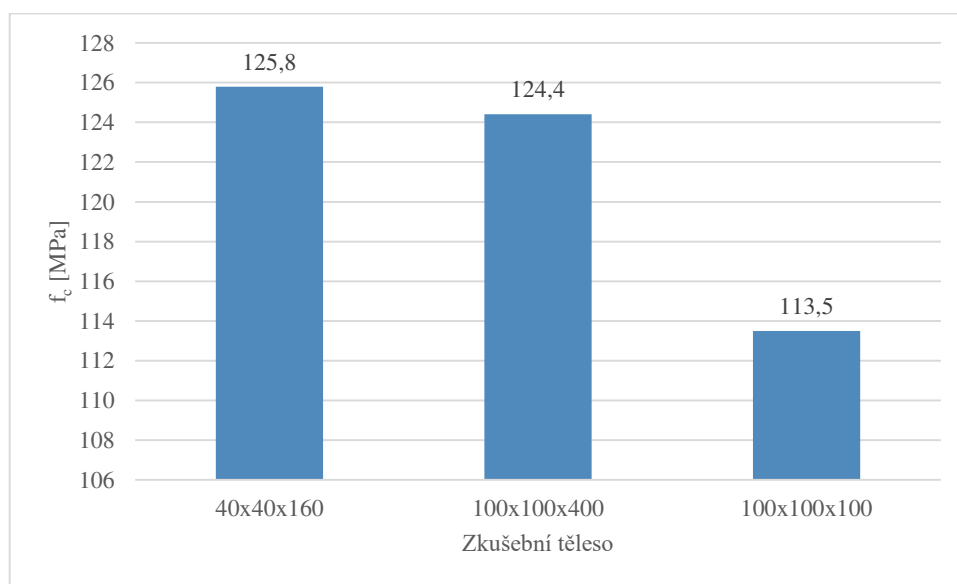
Další zkouškou prováděnou na několik těles byla zkouška v tlaku. Zkouška byla provedena na zlomcích trámečků o rozměru 40x40x160 mm. Dále byly použity krychle o hraně 100 mm. Posledním zkušebním tělsem byly trámce o rozměru 100x100x400 mm.

Vývoj pevností, zobrazen na grafu 8.8.3, byl proveden na zlomích zkušebních trámečků. Porovnání pevností v tlaku jednotlivých typů vzorků je na grafu 8.8.4. dle předpokladu měly největší pevnost v tlaku 125,8 MPa vyšla na malých trámečcích. Nejmenší pevnost v tlaku 113,5 MPa vykazovaly krychle o hraně 100 mm.

*Graf 8.8.3 - Vývoj pevnosti v tlaku na zlomcích trámečků*



*Graf 8.8.4 - Porovnání pevnosti v tlaku různých zkušebních těles*



Celkově se dá říct, že pevnost je nepřímo úměrná velikosti vzorků. Díky nízkému vodnímu součiniteli je cementová matrice velmi tuhá a ošetřovací voda nevnikne hluboko do průřezu. S tím souvisí rozvoj mikrotrhlin a zmenšení hodnot pevností.

## Modul pružnosti

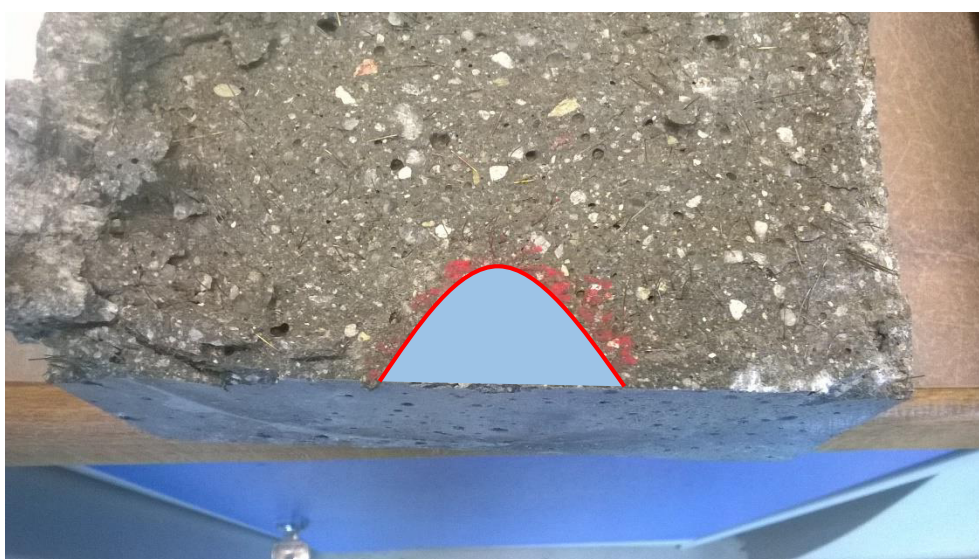
Na zkoušku modulu pružnosti v tlaku byly použity trávce o rozměru 100x100x400 mm. Měření bylo prováděno pomocí dvou úchylkoměrů na dvou protilehlých stranách. Průměrný modul pružnosti v tlaku vyšel 40,4 GPa. Při výpočtu lomových vlastností byl stanoven modul pružnosti na 44,1 GPa.

Modul pružnosti 40,4 GPa odpovídá podle tabulky 3.1 ČSN EN 1992 – 1 – 1 třídě betonu C 60/75. Toto zařazení, ale neodpovídá změřeným pevnostem v tlaku. Modul pružnosti souvisí nejvíce s kvalitou kameniva. Výsledný modul pružnosti je poměrně vysoký s ohledem na to, že byl použit pouze písek bez hrubé kameniva.

## Hloubka průsaku tlakovou vodou

Největší hloubka průsaku je 21 mm. Hloubka průsaku je parametr trvanlivosti betonu. Pro UHPC je 21 mm poměrně velký průsak. Úzce s tím bude souviset odolnost na stupeň vlivu prostředí a životnost konstrukce. Hloubka průsaku je znázorněna na obrázku 8.1.3.

*Obrázek 8.1.3 - Hloubka průsaku tlakovou vodou*



## 8.9 Finální nevyztužená směs

Druhá finální záměs bez rozptýlené výztuže byla zvolena ternární směs s vysokým obsahem mikrosiliky a malým obsahem metakaolínu. Tato směs, stejně jako předchozí byla namíchána ve větším množství a pro větší zkušební vzorky. Proto bylo použito kamenivo nasycené vodou frakce 0 – 4. Receptura je uvedena v tabulce 8.9.1.

*Tabulka 8.9.1 - Receptura finální nevyztužené záměsi*

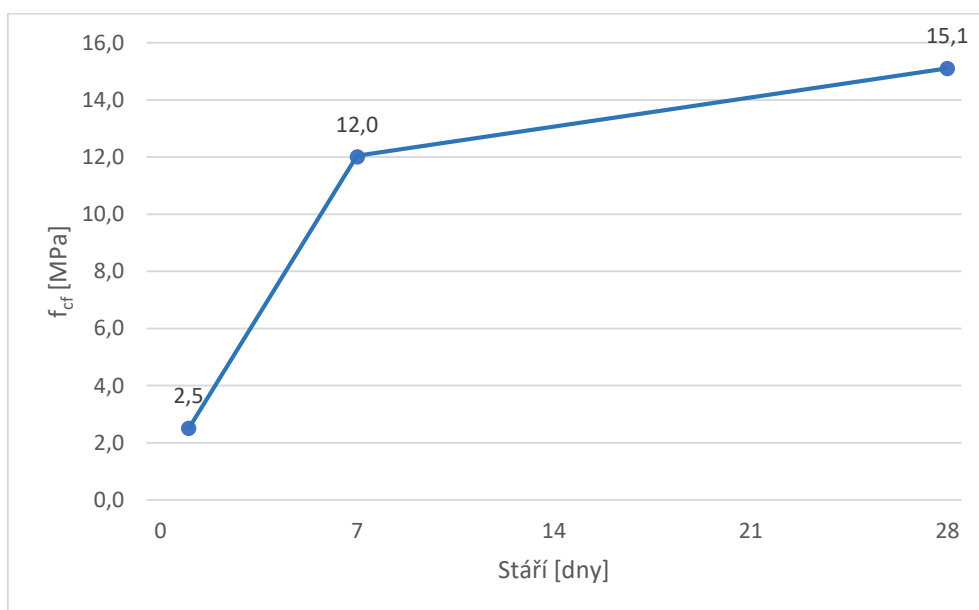
Receptura na 1m <sup>3</sup>		20 l
Cement 52,5 R [kg]	650	13
Mikrosilika [kg]	67,5	1,35
Metaver [kg]	22,5	0,45
Písek 0-4 [kg]	1000	20
Voda [l]	120	2,4
ViscoCrete 2700 [l]	26	0,52
Rozlití [mm]	650 - F6 velmi tekutá	

Po umíchání směsi byla provedena zkouška rozlitím. Hodnota rozlití byla 650 mm spadající do kategorie F6 velmi tekutá směs. Tento beton by již šel zařadit do skupiny SSC, protože přesáhl minimální hranici rozlití 600 mm. Zkouška byla také úspěšná a neobjevila se segregace na čerstvé směsi. Zkušební tělesa byla po 24 hodinách odformována a uložena ve vodě.

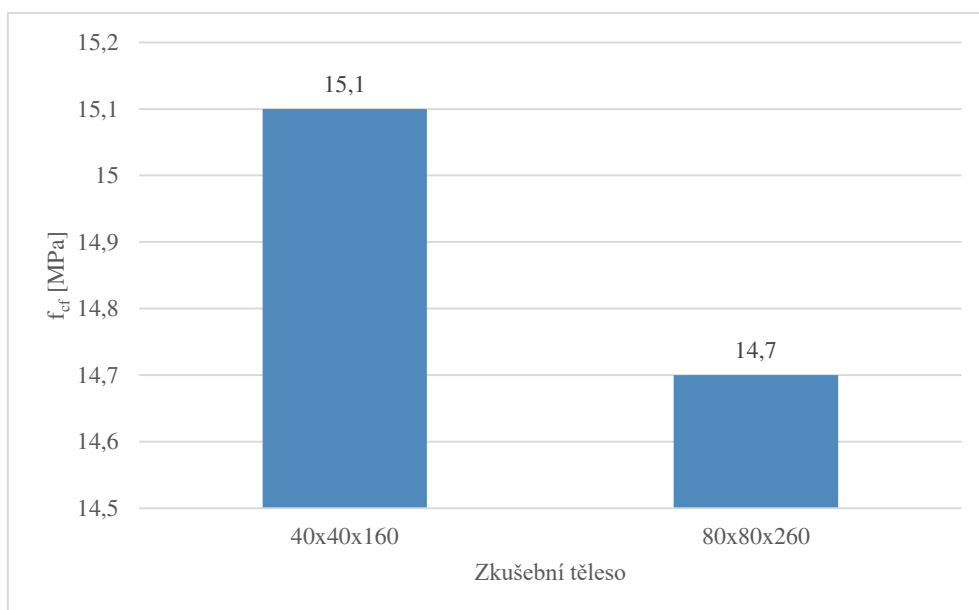
### **Pevnost v tahu za ohybu**

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu za ohybu, zkoušené na trámečcích, jsou uvedeny v grafu 8.9.1. Vývoj pevností dopadl obdobně jako v případě finální směsi s rozptýlenou výztuží. Maximální hodnota pevnosti naměřená na trámečcích byla 15,1 MPa a 14,7MPa na vzorcích o rozměru 80x80x260.

*Graf 8.9.1 - Vývoj pevnosti v tahu za ohybu na vzorcích 40x40x160 mm*



*Graf 8.9.2 - Porovnání pevností různých těles*

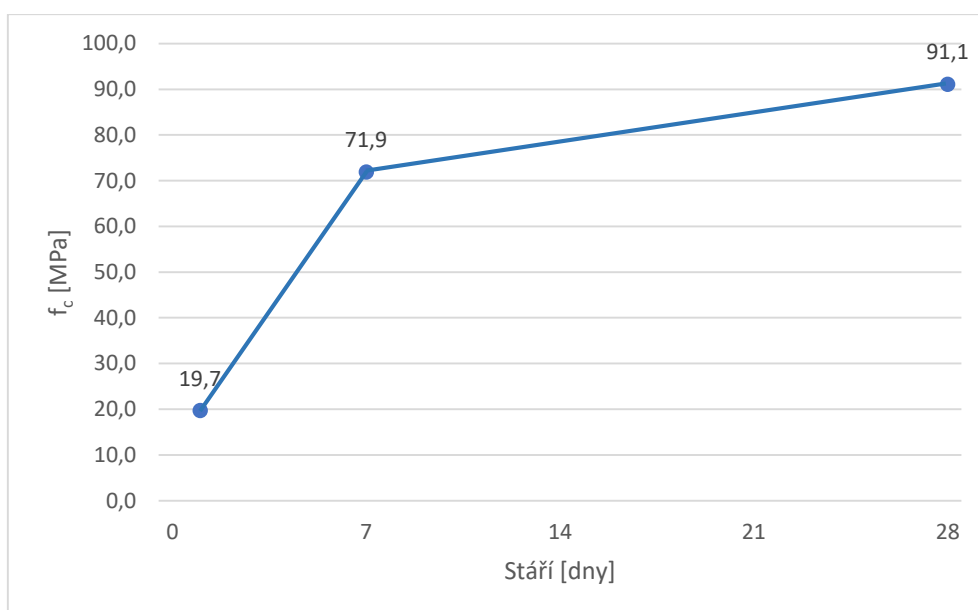


## Pevnost v tlaku

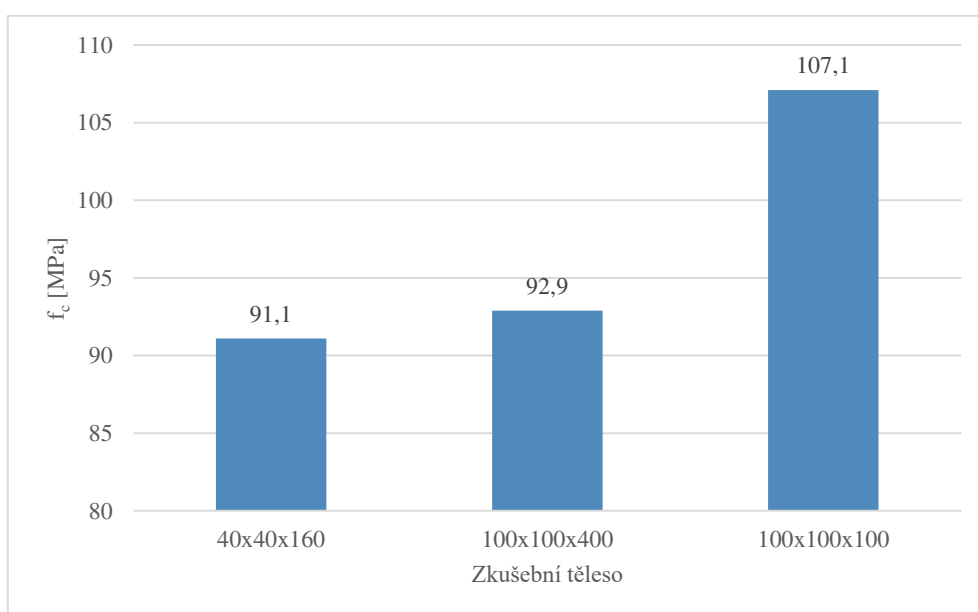
Zkouška pevnosti v tlaku byla provedena na stejných tělesech jako v minulé kapitole. Vývoj pevností je znázorněn na grafu 8.9.3. Výsledná pevnost na trámečcích po 28 dnech je o dost nižší než v případě směsi s rozptýlenou výztuží. Na dalším grafu 8.9.4 jsou uvedeny

naměřené hodnoty pevnosti v tlaku pro různá tělesa. Oproti předchozí směsi vychází největší pevnost a to 107,1 MPa na krychlích o hraně 100 mm. Nejmenší pevnost a to 91,1 MPa vychází na zlomcích z trámečků. To mohlo být způsobeno jistou nehomogenitou, která se nacházela v trámečcích. Nepodařilo se zjistit, co tato nehomogenita byla, ale výrazně negativně ovlivnila pevnost trámečků. Tento jev by bylo za potřebí více sledovat, ale povaha této práce tomuto úkolu neodpovídá.

*Graf 8.9.3 - Vývoj pevnosti v tlaku na zlomcích trámečků*



*Graf 8.9.4 - Porovnání pevnosti v tlaku různých zkušebních těles*



## Modul pružnosti

Na zkoušku modulu pružnosti v tlaku se použily trávce o rozměru 100x100x400 mm. Měření probíhalo pomocí dvou úchylkoměrů umístěných na protilehlých stranách trávce. Výsledný modul 31,2 GPa pružnosti je poměrně nízký ve vztahu k pevnostem v tlaku.

Modul pružnosti 31,2 GPa odpovídá podle tabulky 3.1 ČSN EN 1992 – 1 – 1 třídy betonu C 20/25. Tato navržená směs nebude dobře odolávat přetvoření a budou znatelné větší deformace při zatížení, oproti směsi s rozptýlenou výztuží.

## Hloubka průsaku tlakovou vodou

Maximální hloubka průsaku byla změřena 9mm. To je více než poloviční hodnota, oproti minulé receptuře. Tato ternární směs bude mít lepší odolnost proti vlivům prostředí a zvýší se životnost konstrukce. Za lepší výsledky v hloubce průsaku tlakovou vodou může hlavně mikrosilika, která díky pucolánové reakci vytvoří hutnou strukturu a zabrání průniku vody.

Vodní součinitel byl vypočítán podle vztahu  $w = \frac{v}{c+k*x}$  (12) na 0,16.

*Obrázek 8.9.1 – Praktická ukázka tenkostěnné konstrukce, tloušťka stěny 15mm*



## Závěr

Tématem této práce bylo popsat vysokohodnotné betony a jejich vlastnosti. Cílem praktické části práce bylo experimentální zkoumání vlivu složek receptur na vlastnosti betonu. Jako výsledek těchto experimentů byly dvě finální experimentálně navrhnuté receptury. Z každé receptury byl namíchán beton.

V teoretické části práce byla nastíněná problematika UHPC i s porovnáním s běžnými betony. Dále byly popsány typy jednotlivých vysokohodnotných betonů a vliv složek receptur na vlastnosti UHPC. Popsána byla také velice důležitá kapitola související s vysokohodnotným betonem a to jeho odolnost a ošetřování, které je pro správné provedení UHPC důležité.

Praktická část této práce se zaměřila na několik fází návrhu receptury betonu. Nejdříve byl na čerstvé směsi vyzkoušen bod nasycení plastifikátorem. V další kapitole byl zkoumán vliv obsahu kameniva na reologii s ohledem na pevnosti. Z experimentu bylo zjištěno, že nejlepší vlastností dosahoval beton při dávce  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Následovala kapitola, která měla za cíl zjistit optimální vodní součinitel. Optimální vodní součinitel byl zvolen v další fázi s ohledem na příměsí. Minimální vodní součinitel, kterého bylo dosaženo byl 0,22. V poslední fázi byl zkoumán vliv rozptýlené výztuže na beton. Na základě těchto experimentů byly navrhnuty dvě finální receptury.

Dvě kapitoly byly věnovány praktické ukázce. Jedna měla za cíl vytvořit lehký beton pro stavbu modelu závodní kánoe. Další aplikací bylo použití výztužných rohoží v deskách tloušťky 18mm.

Cíl práce byl stanovený na návrh UHPC. Bylo předpokládáno dosažení pevnosti v tlaku minimálně 150 MPa a pevnosti v tah za ohybu minimálně 20 Mpa. Cíl experimentální části práce tedy nebyl úspěšně splněn. Důvody by zasloužily studium a zkoumání. Největší přínos pro zvýšení kvality betonu by jistě mělo kvalitnější kamenivo a podrobnější zkoumání vlivu příměsí do betonu.



## Seznam použitých zdrojů

1. Hudoba, Igor. *Vysokohodnotný betón*. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-227-2836-2.
2. <http://www.ateam.zcu.cz>. *Oddělení povrchového inženýrství*. [Online] <http://www.ateam.zcu.cz/download/beton.pdf>.
3. Zázvorka, Petr. <http://www.casopisstavebnictvi.cz>. *Časopis stavebnictví*. [Online] 11. prosinec 2007. [http://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelny-rozvoj-z-hlediska-historie\\_N464](http://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelny-rozvoj-z-hlediska-historie_N464).
4. Pytlík, Petr. *Technologie betonu*. Brno : VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5.
5. Aitcin, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-39-9.
6. <http://www.asb-portal.cz>. *ASB-portál*. [Online] 28. duben 2016. [Citace: 30. duben 2016.] <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/mosty/lavka-z-ultra-vysokohodnotneho-betonu>.
7. Coufal, Robert a Vítek, Jan L. <http://www.tbg-metrostav.cz>. *TBG Metrostav*. [Online] září 2012.
8. COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-75-7.
9. PONTEX, spol s r.o., ve spolupráci se: FSv VUT Brno, FSv ČVUT Praha a Skanska a.s. *Technické podmínky TP 226*. Praha : Ministerstvo dopravy ČR, Odbor silniční infrastruktury, 2010.
10. *Binders for Durable and Sustainable Concrete*. Aitcin, Pierre-Claude. Abingdon : Taylor & Francis, 2008. ISBN 0-203-94048-2.
11. Svoboda, Luboš a kolektiv. *Stavební hmoty*. Praha : ČVUT FSv, 2013. ISBN 978-80-260-4972-2.
12. ČSN EN 1015-2 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt. *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*. Praha : Český normalizační institut, 1999.
13. ČSN EN 1015-3 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku). Praha : Český normalizační institut, 2000.

14. ČSN EN 1015-11 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha : Český normalizační institut, 2000.
15. ČSN EN 12390-2 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
16. ČSN EN 12350-5 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlitím*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
17. ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
18. ČSN EN 12390-5 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
19. ČSN EN 12390-8 *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
20. ČSN ISO 1920-10 *Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Praha : Český normalizační institut, 2016.
21. ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha : Český normalizační institut, 2012.
22. ČSN EN 1008: *Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*. Praha : Český normalizační institut, 2003.
23. Tomáš, Vlach. *Využití textilních výztuží ve vysokohodnotných betonech*. Praha : ČVUT, 2016.

## Seznam grafů

- Graf 7.1.1 - Sítový rozbor kameniva Tovačov 0-4
- Graf 8.1.1 - Graf bodu nasycení přísadami
- Graf 8.1.2 - Pevnost v tahu za ohybu s ViscoCrete
- Graf 8.1.3 - Pevnost v tlaku s ViscoCrete
- Graf 8.1.4 - Pevnost v tahu za ohybu s PCE
- Graf 8.1.5 - Pevnost v tlaku s PCE
- Graf 8.1.6 - Pevnost v tahu za ohybu s KRV
- Graf 8.1.7 - Pevnost v tlaku s KRV
- Graf 8.2.1 - Křivka zpracovatelnosti v závislosti na obsahu kameniva
- Graf 8.2.2 - Pevnost v tahu za ohybu s různým obsahem kameniva
- Graf 8.2.3 - Pevnost v tlaku s různým obsahem kameniva
- Graf 8.3.1 - Křivka zpracovatelnosti v závislosti na vodním součiniteli
- Graf 8.3.2 - Pevnost v tahu za ohybu s různým vodním součinitelem; 2 % plastifikátoru
- Graf 8.3.3 - Pevnost v tlaku s různým vodním součinitelem; 2 % plastifikátoru
- Graf 8.3.4 - Pevnost v tahu za ohybu s různým vodním součinitelem; 2,5 % plastifikátoru
- Graf 8.3.5 - Pevnost v tlaku s různým vodním součinitelem; 2,5 % plastifikátoru
- Graf 8.4.1 - Porovnání zpracovatelnosti směsí
- Graf 8.4.2 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,29
- Graf 8.4.3 - Pevnost v tlaku, vodní součinitel 0,29
- Graf 8.4.4 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,22
- Graf 8.4.5 - Pevnost v tahu za ohybu, vodní součinitel 0,22
- Graf 8.5.1 - Rozlití směsí
- Graf 8.5.2 - Pevnost v tahu za ohybu kontrolní směsí
- Graf 8.5.3 - Pevnosti v tlaku kontrolní směsí
- Graf 8.5.4 - Pevnost v tahu za ohybu směsí obohacenou vlákny
- Graf 8.5.5 - Pevnost v tlaku směsí obohacenou vlákny
- Graf 8.5.6 - Pevnost v tahu za ohybu směsí obohacenou drátky
- Graf 8.5.7 - Pevnost v tlaku směsí obohacenou drátky
- Graf 8.6.1 – Průběh zatížení TRC desek s 2D rohoží ze zkoušky čtyřbodovým ohybem
- Graf 8.6.2 - Průběh zatížení TRC desek s 3D rohoží ze zkoušky čtyřbodovým ohybem
- Graf 8.6.3 - Pevnost v tahu za ohybu
- Graf 8.8.1 - Vývoj pevnosti v tahu za ohybu na vzorcích 40x40x160 mm

Graf 8.8.2 - Porovnání pevností různých zkušebních těles  
 Graf 8.8.3 - Vývoj pevnosti v tlaku na zlomcích trámečků  
 Graf 8.8.4 - Porovnání pevnosti v tlaku různých zkušebních těles  
 Graf 8.9.1 - Vývoj pevnosti v tahu za ohybu na vzorcích 40x40x160 mm  
 Graf 8.9.2 - Porovnání pevností různých těles  
 Graf 8.9.3 - Vývoj pevnosti v tlaku na zlomcích trámečků  
 Graf 8.9.4 - Porovnání pevnosti v tlaku různých zkušebních těles

### **Seznam tabulek**

Tabulka 7.1.1 - Sítový rozbor kameniva Tovačov 0-4  
 Tabulka 8.1.1 - Receptura se superplastifikátorem ViscoCrete  
 Tabulka 8.1.2 - Receptura s přísadou PCE  
 Tabulka 8.1.3 - Receptura s přísadou KRV  
 Tabulka 8.2.1 - Receptura na porovnání obsahu kameniva  
 Tabulka 8.3.1 - Receptura betonu s dávkou plastifikátoru 2 %  
 Tabulka 8.3.1 - Receptura betonu s dávkou plastifikátoru 2,5 %  
 Tabulka 8.4.1 - Receptura směsi s vodním součinitelem 0,29 a dávkou plastifikátoru 2,5 %  
 Tabulka 8.4.2 - Receptura směsi s vodním součinitelem 0,22 a dávkou plastifikátoru 4 %  
 Tabulka 8.5.1 - Receptury kontrolních směsí  
 Tabulka 8.5.2 - Receptury obohacené o vlákna  
 Tabulka 8.5.3 - Receptury obohacené o drátky  
 Tabulka 8.6.1 - Receptura směsí  
 Tabulka 8.7.1 - Receptury lehčených směsí  
 Tabulka 8.8.1 - Receptura finální vyztužené záměsi  
 Tabulka 8.9.1 - Receptura finální nevyztužené záměsi

### **Seznam obrázků**

Obrázek 1.3.1 - Příčný řez lávky [6]  
 Obrázek 6.2.1 a 6.2.2 – porovnání konzistence tuhé a tekuté čerstvé betonové směsi  
 Obrázek 6.3.1 - Vyhovující způsob porušení zkušebních vzorků v tlaku

Obrázek 8.1.1 - Vliv plastifikátoru na povrch betonu, zleva 1,5 %, 1 %, 0,5 %  
Obrázek 8.4.1 a 8.4.2 - Odmísené částice v průřezu trámečku  
Obrázek 8.5.1 - Průřez zkušebního vzorku vyztuženého vlákny  
Obrázek 8.5.2 - Průřez zkušebního vzorku vyztuženého drátky  
Obrázek 8.5.3 a 8.5.4 - Porušený vzorek s vlákny (vlevo) a drátky (vpravo)  
Obrázek 8.6.1 a 8.6.2 – Odloupnuta krycí vrstva a vznik prvních markotrhlin  
Obrázek 8.6.3 - Zatěžování vzorku  
Obrázek 8.6.4 - Porušený zkušební vzorek  
Obrázek 8.7.1 a 8.7.2 - Žebra pro bednění a bednění s přiloženými vodícími žebry  
Obrázek 8.7.3 a 8.7.4 - Postup betonáže a kanoe ve vodě  
Obrázek 8.8.1 a 8.8.2 – Detail směsi bez segregace a zkouška rozlitím  
Obrázek 8.1.3 - Hloubka průsaku tlakovou vodou  
Obrázek 8.9.1 – Praktická ukázka tenkostěnné konstrukce, tloušťka stěny 15mm

### **Seznam příloh**

Příloha č.1 – Tovačov  
Příloha č.2 – Liapor  
Příloha č.3 – Liaver  
Příloha č. 4 – Cement  
Příloha č. 5 – Sika  
Příloha č.6 – KRV  
Příloha č. 7 – Mikrosilika  
Příloha č. 8 – Metaver  
Příloha č.9 – Drátky  
Příloha č. 10 – Vlákná  
Příloha č. 11 – Kalcifil S  
Příloha č. 12 – 2D rohož  
Příloha č. 13 – 3D rohož

## Přílohy

### Příloha č.1 – Tovačov

#### ES PROHLÁŠENÍ O SHODĚ



1392

Výrobce:

Českomoravské šterkovny a.s.

Mokrý 359

664 05 MOKRÁ

IČ: 63475511

04

1392-CPD-095

Provozovna:	Tovačov	Frakce kameniva:	0/4
-------------	---------	------------------	-----

#### Přírodní těžené kamenivo

Charakteristika	Vyjádření	EN 12620	EN13043	EN13139	EN 13242
Zrnitost	kategorie	G: 85	G <sub>x</sub> 85	vyhovuje	G <sub>x</sub> 85
Tolerance pro zrnitost HK	kategorie	-	-	-	-
Tolerance pro zrnitost DK a směsi	kategorie	NPD	G <sub>12</sub> 20	vyhovuje	GT <sub>20</sub>
Drobné zrna pod 0,5 mm	kategorie	-	-	CP 5-45	-
Obsah jemných částic	kategorie	f <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	kategorie 1	f <sub>1</sub>
Jakost jemných částic	kategorie	NPD	NPD	NPD	NPD
Tvarový index	kategorie	-	-	-	-
Index plochosti	kategorie	-	-	-	-
Délka zrna	kategorie	-	-	-	-
Obsah schránek živočichů	kategorie	NPD	-	NPD	-
Podíl ostrohranných zrn v HK	kategorie	-	-	-	-
Odolnost proti drcení-Los Angeles	kategorie	-	-	-	-
Odolnost proti drcení v rázu	kategorie	NPD	NPD	-	NPD
Odolnost proti otěru	kategorie	NPD	NPD	-	NPD
Odolnost proti ohladielnosti	kategorie	NPD	NPD	-	-
Odolnost proti povrchovému obrusu	kategorie	NPD	NPD	-	-
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	kategorie	NPD	NPD	NPD	NPD
Odolnost vůči tepelným šokům	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Objemová hmotnost	dekl. hodnota	2,619	2,619	2,619	2,619
Sypná hmotnost	dekl. hodnota	1,566	1,566	1,566	1,566
Nasákavost	dekl. hodnota	1,5	2	2	2
Objemová stálost	vyhov./nevyhov.	NPD	-	-	-
Alkalicko-křemíčitá reakce	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	NPD	-
Chloridy	dekl. hodnota	0,0004	-	0,0004	-
Síraný rozpustný v kyselině	kategorie	AS <sub>100</sub>	-	AS <sub>100</sub>	AS <sub>100</sub>
Celková síra	vyhov./nevyhov.	vyhovuje S <sub>1</sub>	vyhovuje S <sub>1</sub>	vyhovuje S <sub>1</sub>	vyhovuje S <sub>1</sub>
Chemické složení	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Afinita mezi HK a asfaltovým pojivem	dekl. hodnota	-	NPD	-	-
Obsah lehkých znečišťujících částic	dekl. hodnota	max. 0,01	-	-	-
Obsah humusovitých částic	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	-	vyhovuje	vyhovuje
Obsah oxidu uhličitého	dekl. hodnota	NPD	-	-	-
Obsah přírodních radionuklidů	vyhov./nevyhov.	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
Druh kameniva	název	šterkopisek			

Výrobek je v souladu s přílohami ZA příslušných EN norem.

V Mokrém, dne 1.6.2004

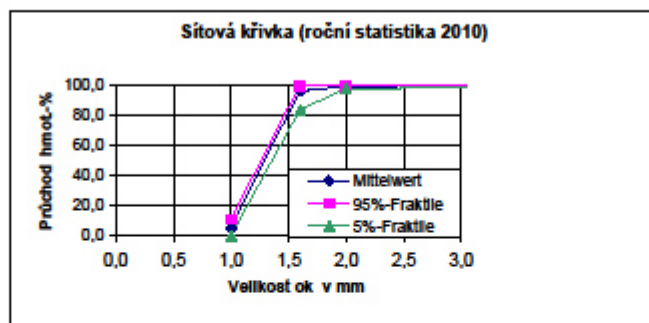
ČESKOMORAVSKÉ ŠTERKOVNY A.S.  
Mokrý 359, PSČ 664 05  
IČ: 63475511

RNDr. Václav Bližkovský  
vedoucí OKRÚ-zmocněná osoba

1020

## Technický list

Frakce	Liaver 1 – 2 mm		
<b>Základní vlastnosti</b>			
Materiál	expandované sklo		lehké kamenivo podle EN 13055-1
Tvar zrna	oválný, uzavřený		
<b>Geometrické vlastnosti</b>			
Zrnitost	1-2mm		<b>Zkušební metoda</b>
Obsah jemných podílů (<0,063mm)	< 1 %		EN 933-1
			EN 933-1
<b>Fyzikální vlastnosti</b>			
Sypná hmotnost	220 ± 15%	kg/m³	EN 1097-3
Hustota	350 ± 15%	kg/m³	DIN V 18004
Pevnost zrna	3,0 ± 10%	N/mm²	v návaznosti na EN 13055-1 příloha A
<b>Chemické vlastnosti</b>			
Chloridy	< 0,01	hmot.-%	DIN EN 1744-1
V kyselině rozpustné sírany	< 0,1	hmot.-%	
Celkový obsah síry	< 0,1	hmot.-%	
<b>Chemické složení</b>			
SiO <sub>2</sub>	71 ± 2	hmot.-%	DIN 51001
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 ± 0,3	hmot.-%	
Na <sub>2</sub> O	13 ± 1	hmot.-%	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 ± 0,2	hmot.-%	
CaO	8 ± 2	hmot.-%	
MgO	2 ± 1	hmot.-%	
K <sub>2</sub> O	1 ± 0,2	hmot.-%	
Stopové prvky	< 0,5	hmot.-%	
<b>Ostatní vlastnosti</b>			
Třída hořlavosti	A1		DIN 4102-4



Liaver GmbH & Co. KG  
Gewerbepark „Am Wald“ 17  
D-98693 Ilmenau

Fon (0 3677) 8629 0  
Fax (0 3677) 8629 30

Internet: [www.liaver.com](http://www.liaver.com)

Distributor pro CZ a SK  
Esolyt s.r.o.,  
Křpy 81,  
294 79 Kropáčova Vrutice  
Tel: +420 326 393 530  
Fax: +420 225 020 612  
eMail: [esolyt@esolyt.cz](mailto:esolyt@esolyt.cz)  
[www.esolyt.cz](http://www.esolyt.cz)

E-Mail: [Info@liaver.com](mailto:Info@liaver.com)

Liaver®  
Blähglas-  
granulat

01/2011 St





#### CEM I 52,5 R Portlandský cement CEM I 52,5 R

##### Popis:

Portlandský cement CEM I 52,5 R je vyráběn v souladu s EN 197-1. Je to hydraulické práškové pojivo vyráběné společným semletím portlandského slínku, síranu vápenatého, doplňující složky a přísady. Tyto složky jsou specifikovány v článku 5 technické normy EN 197-1. Balený portlandský cement CEM I 52,5 R je na trh dodáván pod obchodním označením TOPCEMENT.

##### Složení portlandského cementu

Druh cementu	Hlavní složka	Doplňující složka
	Portlandský slínek	
CEM I	95-100%	0-5%

Do uvedeného poměru složek není započítán síran vápenatý, který se přidává jako regulátor tuhnutí a přísady usnadňující výrobu nebo vlastnosti cementu.

##### Charakteristické vlastnosti:

- velmi rychlý nárůst pevnosti
- nejvyšší počáteční pevnosti z cementů vyráběných Cement Hranice, a.s.
- nejvyšší normalizované pevnosti z cementů vyráběných Cement Hranice, a.s.
- vysoký vývin hydratačního tepla při procesu tuhnutí a tvrdnutí

##### Použití:

Používá se pro náročné betonové, železobetonové stavební konstrukce, drobné betonové dílce a velkorozměrové dílce, které jsou vystaveny velmi vysokému mechanickému zatížení. CEM I 52,5 R je vhodný pro betony vyšších pevnostních tříd (vysokohodnotné betony), předpínané betony, betony s požadavkem na velmi vysoké počáteční pevnosti s ohledem na rychlé odformování. Není vhodný pro masivní betonové stavby.

##### Způsob dodání:

- volně ložený v autocisternách nebo železničních vagonch Uacs
- balený v papírových pytlích po 25 kg, na paletách EUR po 1,4 t, které jsou zakryté samosmršťovací fólií

##### Kvalita, ekologie, bezpečnost

- certifikát managementu kvality dle ČSN EN ISO 9001
- certifikát environmentálního managementu dle ČSN EN ISO 14001
- certifikát managementu bezpečnosti a ochrany při práci dle ČSN OHSAS 18001

Technické parametry:

CEM I 52,5 R			
Parametr	Jednotka	Požadavek EN 197-1	Průměrné dosahované hodnoty
Počáteční pevnost (2 dny)	MPa	$\geq 30$	40
Normalizovaná pevnost (28 dnů)	MPa	$\geq 52,5$	61
Počátek tuhnutí	minuty	$\geq 45$	160
Objemová stálost (rozeprnutí)	mm	$\leq 10$	1,2
Ztráta žíháním	%	$\leq 5,0$	2,5
Nerozpustný zbytek	%	$\leq 5,0$	0,23
Obsah síranů (jako $\text{SO}_3$ )	%	$\leq 4,0$	3,5
Obsah chloridů	%	$\leq 0,1$	0,07

Použitelnost cementů pro stupeň vlivu prostředí dle ČSN P 73 2404

Cement	Stupeň vlivu prostředí																	
	bez nebezpečí koroze nebo narušení	koroze způsobená karbonatací				koroze způsobená chloridy (jinými než z mořské vody)			střídavé působení mrazu a rozmrazování				chemicky agresivní prostředí			obrus		
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
CEM I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x <sup>a)</sup>	x <sup>a)</sup>	x	x	x

x... použitelný pro daný stupeň vlivu prostředí

a)... při chemické síranové agresivitě se stupněm vlivu prostředí vyšším než XA1 (koncentrace síranových iontů  $\text{SO}_4^{2-}$  vyšší než 600 mg/litr v podzemní vodě nebo 3000 mg/kg případně 2000 mg/kg v rostlé zemině) se musí použít síranovzdorný cement SR. Při obsahu  $\text{SO}_4^{2-}$  do 1500 mg/litr je možné použít CEM I s dostatečnou dávkou pucolánové příměsi (např. s alespoň 20% popílkou).

4-01565

Cement Hranice, akciová společnost  
Bělotínská 288, 753 39 Hranice I - Město  
Telefon: +420 581 829 111, www.cement.cz

Construction

**Technický list**  
Datum vydání: 06/2016  
Identifikační číslo: 02 13 01 01 100 0 002374  
Verze č. 01  
Sika® ViscoCrete®-2700

## Sika® ViscoCrete®-2700

Vysoce účinný superplastifikátor s rychlým nárůstem počátečních pevností a prodlouženou zpracovatelností


<b>Popis výrobku</b>	Sika® ViscoCrete®-2700 je vysoce účinný superplastifikátor s vysokými počátečními pevnostmi, vhodný především pro výrobu prefabrikátů.
<b>Použití</b>	Sika® ViscoCrete®-2700 je vhodný pro: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ betony s prodlouženou dobou zpracovatelnosti</li> <li>■ betony s redukováním vyztužením</li> <li>■ tekuté betony konzistence F4-F6</li> <li>■ samozhutitelné betony (SCC)</li> </ul>
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ zlepšuje dispergaci a smáčení zm. cementu</li> <li>■ snižuje třecí síly mezi zrn. cementu a kameniva</li> <li>■ snižuje množství záměsové vody</li> <li>■ prodlužuje dobu zpracovatelnosti</li> <li>■ zlepšuje zpracovatelnost při stejném vodním součiniteli <math>v=w/c</math></li> <li>■ snižuje vodní součinitel při zachování stejné zpracovatelnosti</li> <li>■ pomalejší průběh tuhnutí, nižší intenzita hutnění</li> <li>■ vysoce homogenní beton</li> <li>■ vyšší počáteční a konečné pevnosti v tlaku</li> <li>■ zvyšuje životnost</li> <li>■ snižuje smrštění a dotvarování</li> <li>■ výrazně lepší povrchy betonu – pohledové betony</li> </ul>

**Zkušební zprávy**

<b>Testy</b>	Vydáno Prohlášení o vlastnostech č. 02 13 01 01 100 0 002374 1180, certifikováno Oznamujícím subjektem č. 1020, certifikát 1020-CPR-02002779 Odpovídá požadavkům EN 934-1 a EN 934-2:2002, tab. 3.1/3.2.
--------------	---

**Technická data**

<b>Barva</b>	Nážloutlá.
<b>Forma</b>	Kapalina.
<b>Chemická báze</b>	Vodný roztok modifikovaných polykarboxylátů
<b>Objemová hmotnost</b>	-1,06 g/cm <sup>3</sup> (při +20 °C)
<b>Obsah alkálií (Na<sub>2</sub>O)</b>	≤ 1,0 %
<b>Balení</b>	Kanystr: 30 kg Sud: 200 kg Kontejner: 1000 kg Další balení na vyžádání



<b>Podmínky skladování</b>	Nejméně 1 rok od data výroby v uzavřeném neporušeném originálním obalu. Chraňte před znečištěním, mrazem a přímým slunečním zářením.
<b>Podmínky skladování (pokračování)</b>	Při dodávkách v cisternách je nutné stáčet přísadu do čistých nádob. Po delším stání před použitím promíchejte.

### Informace o systému

<b>Dávkování</b>	0,2 – 2,5 % na hmotnost cementu.
<b>Pokyny pro zpracování</b>	Ve výrobních transportbetonu doporučujeme přidávat Sika® ViscoCrete®-2700 přímo do betonu během míchání a před přidáním dalších přísad. Minimální doba míchání závisí na typu míchačky. Při dodatečném dávkování přímo do domíchávače je nutné zajistit optimální dávkování a promíchání přísady. Doba míchání je 1 min/m <sup>3</sup> , minimálně však 5 minut na celkové množství.
<b>Poznámky k aplikaci</b>	Doporučujeme předem provést zkušební záměsi.

### Platnost hodnot

Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naši kontrolu.

Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.

Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

### Bezpečnostní předpisy

- Při zpracování je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny, platné předpisy příslušných úřadů o ochraně zdraví při práci.
- Při aplikaci používejte ochranný oděv, brýle a rukavice.
- Podrobnější údaje týkající se hygieny a bezpečnosti práce, ochrany životního prostředí jsou uvedeny v Bezpečnostním listu.
- Odstraňování odpadu - Odpad dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech.
- Odpad odvézt na skládku stavebního odpadu nebo předejte odborné firmě k likvidaci. Fólie je možné recyklovat.

### Místní omezení

V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.

### Právní dodatek

Uvedené informace, zvláště rady pro zpracování a použití našich výrobků, jsou založeny na našich znalostech z oblasti vývoje chemických produktů a dlouholetých zkušenostech s aplikací v praxi při standardních podmínkách a řádném skladování a používání. Vzhledem k rozdílným podmínkám při zpracování a dalším vnějším vlivům, k četnosti výrobků, různému charakteru a úpravě podkladů, nemusí být postup na základě uvedených informací, ani jiných psaných či ústních doporučení, vždy zárukou uspokojivého pracovního výsledku. Veškerá doporučení firmy Sika CZ, s.r.o. jsou nezávazná. Aplikátor musí prokázat, že předal písemně včas a úplné informace, které jsou nezbytné k řádnému a úspěšnému zaručujícímu posouzení firmou Sika. Aplikátor musí přezkoušet výrobky, zda jsou vhodné pro plánovaný účel aplikace. Především musí být zohledněna majetková práva třetí strany. Všechny námi přijaté objednávky podléhají našim aktuálním „Všeobecným obchodním a dodacím podmínkám“. Ujistěte se prosím vždy, že postupujete podle nejnovějšího vydání technického listu výrobku. Ten je spolu s dalšími informacemi k dispozici na našem technickém oddělení nebo na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

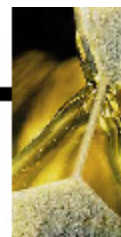


Sika CZ, s.r.o.  
Bystrcká 1132/36,  
CZ 624 00 Brno

tel: +420 546 422 464  
fax: +420 546 422 400  
e-mail: [sika@cz.sika.com](mailto:sika@cz.sika.com)  
<http://www.sika.cz>







## CHRYSO® KRV 120- 601

### Přísada pro úpravu reologie betonu

#### POPIS

CHRYSO® KRV 120-601 je speciální bezchloridová přísada do betonu určená pro korekci reologických vlastností betonů vyráběných za pomoci vysoce účinných superplastifikátorů nejnovější generace.

CHRYSO® KRV 120-601 díky svému unikátnímu chemickému složení již ve velmi malých dávkách snižuje citlivost vysokohodnotných betonů ke kolísání vnějších podmínek (teplota, vlhkost prostředí aj.), prodlužuje jejich zpracovatelnost a umožňuje tím rovnoměrnější a plynulejší výrobu.

CHRYSO® KRV 120-601 používáný v malé dávce ( $< 0,1$  % hm.), ovlivňuje chování čerstvého betonu, ale je bez přímého vlivu na vlastnosti ztvrdlého betonu, které zůstávají nezměněny v porovnání s betonem bez přísady. Při zvýšení dávky nad 0,1 % z hm. cementu může vykazovat částečné plastifikační účinky.

#### Vlastnosti

- nažloutlá kapalina
- hustota (20 °C):  $1,06 \pm 0,02$  kg/dm<sup>3</sup>
- pH:  $4,5 \pm 1$
- obsah chloridů:  $\leq 0,10$  % hm.
- obsah alkálií (ekv. Na<sub>2</sub>O):  $\leq 1,0$  % hm.
- obsah sušiny (ČSN EN 480-8):  $30 \pm 2$  % hm.
- korozivní vlastnosti: Obsahuje pouze složky uvedené v ČSN EN 934-1:2008, příloha A. 1

#### Balení

barel 60 l  
barel 200 l  
kontejner 1 000 l (vratný)

CHRYSO® KRV 120-601 vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 934-2, T 2  
Výroba podléhá certifikovanému řízení výroby podle EN 934-6

#### POUŽITÍ

- vysokohodnotné betony se superplastifikátory
- všechny druhy cementů
- betony všech konzistencí
- předpjaté a propařované betony
- výroba prefabrikátů

#### Praktická doporučení

Dávkování podle požadovaných účinků.

Pro korekci viskozity a zpracovatelnosti:  
0,03 – 0,10 % z hmotnosti cementu.

Obvyklá dávka je 0,05 % z hm. cementu.

Pro zvýšení plasticity a tekutosti betonu:  
0,15 – 0,5 % hm. cementu

CHRYSO® KRV 120-601 se s ohledem na nízké dávky doporučuje přidávat do záměsové vody. Lze ho přidat i do betonu na závěr míchání. Vždy je však třeba zajistit dostatečné promíchání, aby byla zaručena dokonalá homogenizace čerstvého betonu.

#### Upozornění

- chraňte přípravek před mrazem a znečištěním, v případě zmrznutí kontaktujte pracovníky CHRYSO
- nevystavujte přípravek dlouhodobě vyšším teplotám
- minimální doba použitelnosti  
CHRYSO® KRV 120-601 je 12 měsíců



## CHRYSO® KRV 120-601

### Přísada pro úpravu reologie betonu

#### BEZPEČNOST PRÁCE

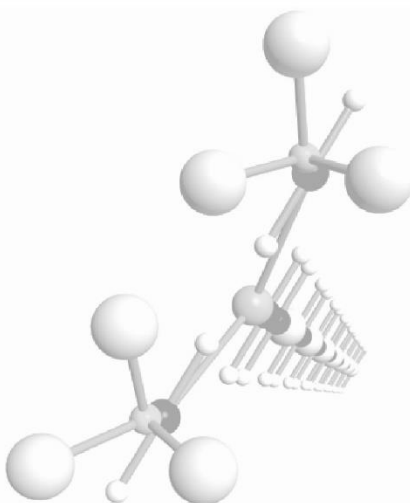
**CHRYSO® KRV 120-601** není podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění a souvisejících zákonných nařízení klasifikován jako nebezpečný.

Doprava **CHRYSO® KRV 120-601** nepodléhá dohodě ADR.

Používání zvláštních ochranných pomůcek:

- pro ochranu dýchacích cest použít respirátor v případě, že na pracovišti vznikají páry nebo aerosol
- pro ochranu kůže použít gumové rukavice z nitrilkaučuku a přiléhavý pracovní oděv
- pro ochranu zraku použít ochranné brýle

Další podrobnější údaje jsou uvedeny v Bezpečnostním listu výrobku.



Tento technický list byl vypracován na základě výzkumu a ověřen v praxi. Stálost kvality výrobků je přísně sledována u výrobce. Před používáním je vhodné účinnost výrobku odzkoušet. S jakýmkoliv dotazem týkajícím se výrobku se obraťte na výrobce.

7/2012

CHRYSO Chemie s.r.o., Sokolovská 55/81, 186 00 Praha 8, tel. 222 311 499, fax 296 150 307, email: info@chryso.cz  
www.chryso.cz



## CHRYSO® Silica

### Prášková mikrosilika

#### POPIS

CHRYSO®Silica je velmi jemná mikrosilika pocházející z továren produkujících křemík nebo slitiny křemíku.

CHRYSO®Silica se v betonových směsích s hydraulickými pojivy chová jako pucolánově aktivní složka. Její vysoká jemnost způsobuje vysokou reaktivitu s cementem, zlepšuje přilnavost a umožňuje vznik extrémně kompaktních betonů. Navíc působí proti segregaci.

#### CHRYSO®Silica:

- zlepšuje konečné mechanické pevnosti betonu
- usnadňuje čerpání veškerých betonů včetně betonů s malým obsahem cementu
- zlepšuje trvanlivost betonu v agresivním prostředí
- zlepšuje odolnost betonu vůči CHRL

#### Vlastnosti

- Šedivý prášek
- Měrný povrch:  $23 \text{ m}^2/\text{g} \pm 3 \text{ m}^2/\text{g}$
- Obj. hmotnost:  $\sim 2,27 \text{ kg}/\text{dm}^3$
- Měrná hustota:  $\sim 0,65 \text{ kg}/\text{dm}^3$
- Obsah křemíku:  $\geq 92 \%$

#### Balení

pytle 25kg

#### POUŽITÍ

- vysokopevnostní a vysokojakostní betony
- betony do agresivních prostředí (zemědělská zařízení, chemický a petrochemický průmysl atd.)
- betony s velkou trvanlivostí (tunely, mosty atd.)
- čerpané betony
- stříkané betony

#### Návod k použití

Dávkování: od 5% do 10% hmotnosti cementu. Pro jiná dávkování doporučujeme konzultaci s pracovníky CHRYSO.

Přípravek CHRYSO®Silica musí být přidán do míchačky společně s cementem. Jeho extrémní jemnost (20x větší než cementu) vyžaduje vysoké rozptýlení – je proto absolutně nezbytné použití superplastifikátoru, buď do záměsové vody, nebo na konci míchání jako ztekucovače.



## CHRYSO® Silica

### Prášková mikrosilika

#### BEZPEČNOST PRÁCE

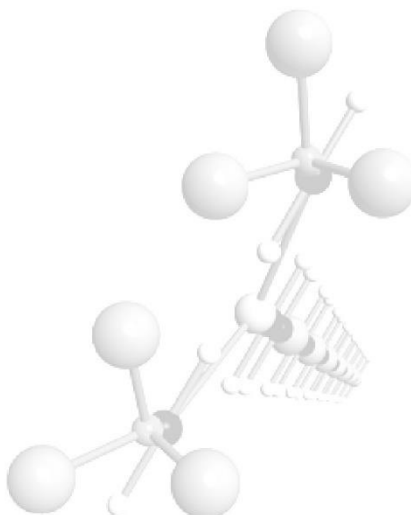
CHRYSO® Silica není podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění a souvisejících zákonných nařízení klasifikován jako nebezpečný.

Doprava CHRYSO® Silica nepodléhá dohodě ADR.

Používání zvláštních ochranných pomůcek:

- pro ochranu dýchacích cest použít respirátor v případě, že na pracovišti dochází k rozprášení výrobku
- pro ochranu kůže použít gumové rukavice z nitrilkaučuku a přiléhavý pracovní oděv
- pro ochranu zraku použít ochranné brýle

Další podrobnější údaje jsou uvedeny v Bezpečnostním listu výrobku.



Tento technický list byl vypracován na základě výzkumu a ověřen v praxi. Stálost kvality výrobků je přísně sledována u výrobce. Před používáním je vhodné účinnost výrobku odzkoušet. S jakýmkoliv dotazem týkajícím se výrobku se obraťte na výrobce.

poslední revize 01/2009





## Technický list

### Metaver® I

**Tepelně upravený čistý kaolin (metakaolin),  
pucolanicky tvrdnoucí přísada pro stavební hmoty na bázi cementu**

#### Charakteristika

Metaver® I je vyroben z obohaceného kaolinu kalcinací. Je lehce načervenalý, složením převážně amorfni aluminosilikát, který reaguje s portlanditem (hydroxidem vápenatým) za tvorby cementu podobných CHS fází.

#### Chemické složení (H.-%)

SiO <sub>2</sub>	52-53	CaO	< 0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40-42	MgO	< 0,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 2,0	Na <sub>2</sub> O	< 0,1
TiO <sub>2</sub>	< 1,0	K <sub>2</sub> O	< 2,0

#### Fyzikální vlastnosti

Specifická hmotnost	cca. 2,6	g/cm <sup>3</sup>
Jemnost podle Blaine	cca. 24 000	cm <sup>2</sup> /g
Povrch podle BET	cca. 18	m <sup>2</sup> /g
Barva	narůžovělá	
Bělost(Dr. Lange)	cca. 60	
Sypná hmotnost	volně	0,32 – 0,37 g/cm <sup>3</sup>
	setřeseno	0,45 – 0,52 g/cm <sup>3</sup>

#### Typická distribuce zrnitosti (laserový granulometr)

Podíl pod 1 μ	cca 7 – 9 % (objemových)
d <sub>50</sub>	3,4 – 4,5 μ
d <sub>95</sub>	12 – 18 μ

#### Účinek

Metaver® I se skládá převážně z minerálu kaolinitu – vrstveného silikátu s odstupem vrstev 7,2 Å. Vrstvy jsou složeny z čtyřtětů (SiO<sub>4</sub>) a osmistětů (AlO<sub>6</sub>), mezi kterými je uložena voda, která je tepelnou úpravou (kalcinací) vypuzena. Tímto způsobem je vnitřní povrch zvětšen a kaolin aktivován.



Felsenstrasse 12, CH-8808 Pfäffikon, Switzerland – [www.newchem.info](http://www.newchem.info)

**Distributor pro CZ a SK:** Esolyt s.r.o., Křpy 81, CZ 294 79 Kropáčova Vrutice., Tel: +420 326 393 530,  
Fax: +420 225 020 612, E-mail: [esolyt@esolyt.cz](mailto:esolyt@esolyt.cz), Web: [www.esolyt.cz](http://www.esolyt.cz).

Portlandský cement uvolňuje během tuhnutí 25% hydroxidu vápenatého (portlanditu), který jako rezerva alkality, přispívá v cementovém kameni k ochraně výztuže. Je preferovaným cílem působení kyselin nebo síranů.

Zvláštní účinek Metaveru® I spočívá ve schopnosti vázat velké množství vápníku ve formě stabilní CSH-fáze. Rychlost a objem této reakce je nutné chemickými a stavebně technickými postupy prověřit.

Ve vztahu k reakční rychlosti je Metaver® I hodnocen jako „rychlý“. Ve směsi s vápenným hydrátem a vodou začíná tuhnout po několika hodinách (metoda Newchem).

## Použití

Metaver® I je pucolanická minerální přísada, která může významně zlepšit řadu vlastností malt, betonů a příbuzných produktů na bási cementu.

Metaver® I se dá lehce zamíchat, působí jako stabilizátor a vytváří měkkou, plastickou a dobře zpracovatelnou konsistenci.

Metaver® I se mimořádně osvědčil v aplikacích, kde jsou vyšší požadavky na pevnost, těsnost a vyšší odolnost i.

Metaver® I přichází v úvahu v aplikacích kde je vyžadována

Plasticita	stříkací betony, opravářské a vrchní malty
Stabilita	lité betony a lité malty, samonivelační hmoty
Pevnost	vápenné a cementové omítky
Vázání vápna	lepidla na obkladačky, vnitřní vrstvy potrubí na pitnou vodu
Odolnost	vrstvy ve styku s odpadní nebo mořskou vodou
Pigmentace	lepší dispergace u prefabrikátů a pohledových betonů
Odolnost proti tvorbě výkvětů	omítky, betonové střešní krytiny, fasádní elementy
Trvanlivost	omezuje alkalicko-křemičitou reakci kameniva

## Dávkování

Doporučené množství 5 až 15% vztaženo na pojivo

## Stabilita

Při skladování v chráněných a suchých prostorách - neomezená

## Skladování

V chráněných a suchých prostorách

## Balení

V pytlích po 20,- kg, ve vacích po 1.000,- kg nebo v cisterně

Technické a aplikační údaje, slovem i písmem, odpovídají současnému stavu našich znalostí a jejich úkolem je informovat o našich výrobcích a možnostech jejich použití. Nezaručují určité vlastnosti konečných výrobků, nebo vhodnost pro určité použití a nezabývají odběratele povinností provést v tomto směru vlastní ověřovací zkoušky. Existující ochranná práva musí být respektována. Použití, způsob aplikace a zpracování, ke kterým dojde mimo možnost naší kontroly, jsou výlučně v odpovědnosti odběratele.

Plinfo CSA 2007-04 – v2



Felsenstrasse 12, CH-8808 Pfäffikon, Switzerland – [www.newchem.info](http://www.newchem.info)

**Distributor pro CZ a SK:** Esolyt s.r.o., Křpy 81, CZ 294 79 Kropáčova Vrutice., Tel: +420 326 393 530, Fax: +420 225 020 612, E-mail: [esolyt@esolyt.cz](mailto:esolyt@esolyt.cz), Web: [www.esolyt.cz](http://www.esolyt.cz),

**ES prohlášení o vlastnostech  
DRAMIX® OL 13/.20**

**INFORMACE PRO  
ZÁKAZNÍKY**

1. Jedinečný identifikační kód výrobku: DRAMIX® OL 13/.20
2. Informace o typu a sledovatelnosti umožňující identifikaci stavebních výrobků podle čl. 11 odst. 4: je uvedeno na obalu a štítku výrobku.
3. Zamýšlené použití stavebního výrobku v souladu s normou EN 14889-1: 2006.  
DRAMIX® OL 13/.20 představuje ocelová vlákna zhotovená ze za studena taženého drátu, pro KONSTRUKČNÍ POUŽITÍ v betonu, maltě a injektážní maltě.
4. Jméno, firma a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5:  
NV BEKAERT SA Bekaertstraat 2, B-8550 Zwevegem, Belgie.
5. Nepoužito.
6. Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků:  
Systém č. 1
7. Oznámený subjekt pro osvědčení:  
BCCA - registration nr: 0749 / B-1040 Brussel, Rue d' Arlon, 53  
provedl pod Systém č. 1
  - určení typu výrobku na základě zkoušky typu,
  - počáteční inspekci ve výrobním závodě a řízení výroby,
  - průběžný dozor, posouzení a hodnocení řízení výroby,
 vydal: „osvědčení o stálosti vlastností“ pro každý výrobek – viz tabulka 1.
- Oznámená laboratoř:  
TSUS - registration nr: 1301 / SK-821 04 Bratislava, Studená 3  
provedla: Počáteční zkoušku typu a vystavila zprávy ITT – viz tabulka 2.
8. Nepoužito.
9. Vlastnosti uvedené v prohlášení:  
základní charakteristiky podle typu výrobku jsou uvedeny v tabulce 1.
10. Vlastnost výrobku uvedená v bodě 1 a 2 je ve shodě s vlastností uvedenou v bodě 9.  
Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:  
Paul De Geyter, senior Quality manager NV Bekaert SA

## ES prohlášení o vlastnostech DRAMIX® OL 13/.20

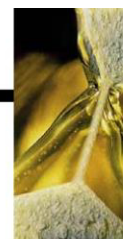
## INFORMACE PRO ZÁKAZNÍKY

Dodatek k bodu 9. Vlastnosti uvedené v prohlášení – základní charakteristiky – viz tabulka 1 v souladu s normou EN 14889-1:2006/EN 14889-1: 2006.

Tabulka 1: Prohlášení o základních charakteristikách	
Typ výrobku	DRAMIX® OL 13/.20
Osvědčení ES o stálosti vlastností/Vystavený oznámeným subjektem	BC1-251-0024-0068-004
Tvar vlákna	rovný
Svazkování	volně
Povlakování	-
Délka (mm)	13
Průměr (mm)	0,21
Poměr stran	62
Pevnost v tahu (N/mm <sup>2</sup> )	2750
Vliv na konzistenci (s)	10
Vliv na pevnost betonu (kg/m <sup>3</sup> )	60
Uvolňování nebezpečných látek	Ne
Životnost	NPD
Modul pružnosti (GPa)	200

Dodatek k bodu 7. Zprávy vydané pod dohledem oznámeného subjektu – viz tabulka 2

Tabulka 2: související zprávy ITT		
Charakteristika	ITT - Reference zprávy	Původ zprávy
ITT - Vliv na konzistenci (s)	N° 20-08-1309	TSUS
ITT - Vliv na pevnost betonu	N° 20-08-1085	TSUS
ITT - Pevnost v tahu	N° 20-08-1311	TSUS



## CHRYSO® Fibre S25, S50

### Strukturální vlákno

#### POPIS

CHRYSO® Fibre S25, S50 je syntetické vlákno vyráběné ze směsi surovin s vysokou mechanickou pevností.

CHRYSO® Fibre S25, S50 zlepšuje následující vlastnosti betonu:

- křehkost po vzniku trhlin, houževnatost;
- odolnost vůči rázům a únavě;
- odolnost vůči vzniku smršťovacích trhlin a vůči segregaci.

CHRYSO® Fibre S25, S50 má velmi vysokou přilnavost, která je výsledkem schopnosti se během míchání na koncích vlákna roztřepit.

CHRYSO® Fibre S25, S50 umožňuje snížit výrobní náklady a dobu nutnou k přípravě výztuže.

CHRYSO® Fibre S25, S50 se v betonu rovnoměrně rozprostře a vytvoří systém výztuže ve všech směrech bez povrchové koroze obvyklé u ocelových drátků.

#### Vlastnosti

- Směs polypropylénu a polyetylénu
- Barva: bílá
- Hustota: 0,92 (920 kg/m<sup>3</sup>)
- Délka: 25, 50 mm
- Bod tání: 160°C
- Bod vzplanutí: 590°C
- Pevnost v tahu: 650 MPa
- Youngův modul pružnosti: 5 GPa
- Chemická odolnost (alkálie, ...): vysoká

#### Balení

##### Prefabrikace:

sáčky 1 kg  
palety po 25 krabicích s 15 sáčky

##### Ostatní:

konzultovat s dodavatelem

#### POUŽITÍ

##### Oblast použití

CHRYSO® Fibre S25, S50 může v mnohých případech nahradit svařovanou výztuž nebo ocelové drátky:

- prefabrikace
- nádrže, síla, šachty
- dlažba
- stříkané betony
- čerpané betony

##### Návod k použití

CHRYSO® Fibre S25, S50 se přidává do betonu v dávce 1 až 8 kg/m<sup>3</sup> podle použití, druhu betonu a na základě doporučení CHRYSO

##### Michačka

CHRYSO® Fibre S25, S50 se míchá zasucha společně s kamenivem po dobu 30 sekund.

##### Automichač

CHRYSO® Fibre S25, S50 se přidá do betonu a míchá cca 10 minut.

CHRYSO® Fibre S25, S50 může způsobit ztrátu zpracovatelnosti, kterou je vhodné kompenzovat plastifikátorem nebo superplastifikátorem.

CHRYSO® Fibre S25, S50 je kompatibilní se všemi přísadami CHRYSO.



## CHRYSO®Fibre S25, S50

### Strukturální vlákno

#### BEZPEČNOST PRÁCE

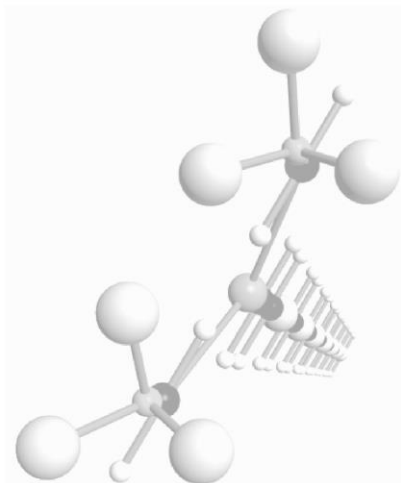
CHRYSO®Fibre S25, S50 není podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění a souvisejících zákonných nařízení klasifikován jako nebezpečný.

Doprava CHRYSO®Fibre S25, S50 nepodléhá dohodě ADR.

Používání zvláštních ochranných pomůcek:

- pro ochranu dýchacích cest není předepsáno
- pro ochranu kůže použít gumové rukavice z nitrilkaučuku a přiléhavý pracovní oděv
- pro ochranu zraku není předepsáno


Další podrobnější údaje jsou uvedeny v Bezpečnostním listu výrobku.



Tento technický list byl vypracován na základě výzkumu a ověřen v praxi. Stálost kvality výrobků je přísně sledována u výrobce. Před používáním je vhodné účinnost výrobku odzkoušet. S jakýmkoliv dotazem týkajícím se výrobku se obraťte na výrobce.

poslední revize 01/2009



	BRATISLAVA 900 41 Rovinka 411 Tel: 02 / 45985500-2	ZVOLEN PustwHrad 3401 Tel: 045 / 6782301	K OŇICE Jutn@Trieda 78 Tel: 055 / 6998320
---	--	--	---

Platnosť od 1.7.2016

## KALCIFIL (NANO) S



### Mikroarmovacie polypropylénové vlákno novej generácie

#### Popis výrobku

Kalcifil (NANO) S je nový typ modifikovaného polypropylénového vlákna krátkého rezu so zvýšenou adhéziou k cementovej matrici. Zlepšenie ukotvenia PP vlákien k cementovej matrici zabezpečuje výrazné zlepšenie mechanických vlastností betónov a mort, mrazuvzdornosú a odolnosť voči CHRL. Anorganické nanotastice na povrchu vlákien pri porovnaní so štandardnými PP vláknami pozitívne vplývajú na spracovateľské vlastnosti terstvej betónovej zmesi. Znižujú pokles konzistencie a zlepšujú reologické vlastnosti betónu v porovnaní s betónmi so štandardnými typmi PP vlákien.

#### Zlepšenie vlastností betónov a mort s novými PP vláknami

- zníženie tvorby zmrázavacích trhlín pri zrení betónov a mort
- výrazné zvýšenie mrazuvzdornosti a odolnosti voči CHRL
- výrazné zvýšenie pevnosti v ťahu pri ohybe at o cca 0,5 MPa, To predstavuje nárast u mort cca o 50-100% (dĺžkový parameter najmä pre omietacie malty)
- zvýšenie zbytkovej pevnosti a odolnosti voči mechanickému namáhaniu
- pozitívny vplyv na spracovateľské vlastnosti betónov a mort
- zvýšenie potiarnej odolnosti betónov

#### Použitie do betónov a mort

- zvýšenie trvanlivosti u väzkach betónov a mort
- zvýšenie potiarnej odolnosti betónových konštrukcií
- priemyselné podlahy, najmä bezpráhové
- výroba prefabrikátov
- výroba tenkostenných prvkov
- parkoviská komunikácie a pod.
- omietacie malty
- prímies do suchých zmesí
- znižuje zmrázanie cementových samohutniacich poterov D max.8 a D max. 4

#### Postup a dávkovanie

Kalcifil (NANO) S sa pridáva do betónu v poslednej fáze miešania, resp. do hotového betónu na stavbe do autodomiešavača. Obvyklé dávkovanie do betónov a mort je 1-2 kg/m<sup>3</sup>, To predstavuje 14 at 30 mil. krátkych vlákien rezu 12mm. Ich dĺžka je spolu cca 1700-3400 km. Povrchová úprava vlákien pomocou anorganického nanoplňiva umožňuje zvýšenie dávkovania do betónov a mort.

#### Sortiment

Rez 12mm - do betónov a mort  
Rez 6mm - do mort

## Vlastnosti

Polypropylén je syntetický polymér odolný voči kyselinám, alkáliám a rozpúšťadlám. Jeho alkalivzdornosť zabezpečuje dlhodobú trvanlivosť a stabilitu v cementovej matrici. Nasiakavosť vody je v podstate nulová.

## Doporučenie

Aj keď neexistujú takmer žiadne špecifické oblasti, pre ktoré by bola aplikácia Kalcifilu Mikro nevhodná, možno v odvodnených prípadoch použiť alternatívne výrobky:

Kalcifil, Kalcifil Mikro

## Používanie PP vlákien v kombinácii s inými výrobkami

Kalcifil (NANO) S možno používať v kombinácii so všetkými prísadami do betónov a mort.

## Skladovanie

V uzavretých originálnych obaloch je skladovateľnosť 1 rok. Chrániť pred slnečnými lúčmi.

## Balenie a dodanie

V PE vreciach po 20 kg, v malých 1 kg sáčkoch, resp. v inom dohodnutom balení.

## Upozornenie

Napriek informácii majú iba smerný charakter. Používanie výrobku vytvára zodpovednosť podľa STN EN 206-1:2002. Stachema nepreberá zodpovednosť za prípadné škody spôsobené neovereným používaním výrobku.

## Bezpečnosť práce a ochrana zdravia

Výrobok nie je toxický. Pri práci s ním je potrebné rešpektovať základné hygienické pokyny. Pri práci s výrobkom treba používať osobné ochranné pracovné pomôcky na zabránenie priamemu styku pokožky a očí. Pri práci nejesť, nepiť, nefajčiť. Pred každou prácou a po skončení práce ruky dôkladne umyť vodou a mydlom a opetriť regeneračným krémom.

## Prvá pomoc

- pri zasiahnutí očí odtiahnuť viečka, otvoriť a vyplachovať prídom tečúcou vodou aspoň 10 min.
- pri zasiahnutí pokožky ihneď dôkladne umyť vodou a mydlom, opetriť regeneračným krémom
- pri požití podať postihnutému asi 0,5 l vody

V ošetrených prípadoch konzultovať liečbu postihnutého s lekárom.

Národné toxikologické informačné centrum, Limbová 5, 833 05 Bratislava Tel. T. +421 2 54 77 41 66

V prípade rozsypania výrobku pozametať a likvidovať v spádovni s dvojitou absorpciou spal'n. Produkt nesmie preniknúť do kanalizačnej siete, povrchových a podzemných vŕzd.

---

**stavebné chémia & dŕame betónu charakter**





## SITgrid200KE

### 1. Material

Bindenkette/ <i>chain (binding)</i>		Polyester texturiert ( <i>textured</i> )167 dtex
	0°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning
	90°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning

### 2. Rovings/ m

0°	118
90°	110

### 3. Maße/ Dimensions

	Rolle/roll/	Platte/sheet
Breite/ <i>width</i>	2,50m	1,25m
Länge/ <i>length</i>	25m	2m

### 4. Lagenabstand/ *spacing distance*

—

### 5. Maschenweite/ *mesh size*

0°	12	mm
90°	12	mm

### 6. Rovingabstand/ *roving distance*

0°	mm
90°	mm

### 7. Rohware/ *gray goods*

570 g/m<sup>2</sup>

### 8. Fertigware/ *finished goods*

612 g/m<sup>2</sup>

### 9. Beschichtung/ *finishing*

Lefasol VLT-1

### 10. Querschnittsfläche/ *cross-section surface*

0°	105,67 mm <sup>2</sup> / m
90°	98,51 mm <sup>2</sup> / m

### Roving properties (yarn producer)

11. Spezifische Dichte/ <i>Specific Gravity</i> :	0°	2,68 g/cm <sup>3</sup>
	90°	2,68 g/cm <sup>3</sup>
12. Elastizitätsmodul/ <i>modulus of elasticity</i> :		72 GPa (10x10 <sup>6</sup> psi)
13. Garnzugfestigkeit/ <i>tensile strength</i>		1700 MPa (250x10 <sup>3</sup> psi)



## SITgrid701KE

### 1. Material

Bindekette/chain (binding)		Polyethylen texturiert (textured)334 dtex
Polkette/ pile warp		Polyethylen Monofil f1 975 dtex 0,30 mm
Vorderseite/ front	0°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning
	90°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning
Rückseite/ back	0°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning
	90°	AR-Glasroving 2400 tex Cemfil 5325 OCV Owens Corning

### 2. Rovings/ m

Vorderseite/ front	0°	47
	90°	44
Rückseite/ back	0°	47
	90°	44

### 3. Maße/Dimensions

	Rolle/roll	Platte/sheet
Breite/width	---	1,25m
Länge/length	---	2m

### 4. Lagenabstand/spacing distance

10	mm
----	----

### 5. Maschenweite/meshsize

Vorderseite/ front	0°	20	mm
	90°	20	mm
Rückseite/ back	0°	20	mm
	90°	20	mm

### 6. Rohware/gray goods

525 g/m<sup>2</sup>

### 7. Fertigware/finished goods

612 g/m<sup>2</sup>

### 8. Beschichtung/finishing

SBR

### 9. Querschnittsfläche/ cross-section surface

Vorderseite/front	0°	42,09 mm <sup>2</sup> / m
	90°	39,40 mm <sup>2</sup> / m
Rückseite/back	0°	42,09 mm <sup>2</sup> / m
	90°	39,40 mm <sup>2</sup> / m

### Roving properties (yarn producer)

10. Spezifische Dichte/ Specific Gravity:	0°	2,68 g/cm <sup>3</sup>
	90°	2,68 g/cm <sup>3</sup>
11. Elastizitätsmodul/modulus of elasticity:		72 GPa (10x106 psi)
12. Garnzugfestigkeit/tensile strength		1700 MPa (250x10 <sup>3</sup> psi)
13. Garnzugfestigkeit SIC-Test nach AbZ Nr. Z-3.72-1731 Tensile strength , SIC Test acc. gen. techn. approval Z-3.72-1731	>	350 N/mm <sup>2</sup>